

PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro



INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation 6 : F02N 11/04		A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 97/08456
		(43) Internationales Veröffentlichungsdatum:	6. März 1997 (06.03.97)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE96/01622		Bernhard [DE/DE]; Otto-Gassner-Strasse 3, D-82319 Starnberg (DE).	
(22) Internationales Anmeldedatum: 31. August 1996 (31.08.96)		(74) Anwälte: VON SAMSON-HIMMELSTJERNA, Friedrich, R. usw.; Widenmayerstrasse 5, D-80538 München (DE).	
(30) Prioritätsdaten:		(81) Bestimmungsstaaten: BR, CA, CN, JP, KR, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).	
195 32 128.6 31. August 1995 (31.08.95) DE 195 32 129.4 31. August 1995 (31.08.95) DE 195 32 135.9 31. August 1995 (31.08.95) DE 195 32 136.7 31. August 1995 (31.08.95) DE 195 32 163.4 31. August 1995 (31.08.95) DE 195 32 164.2 31. August 1995 (31.08.95) DE		Veröffentlicht Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.	
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): CLOUTH GUMMIWERKE AG [DE/DE]; Niehlerstrasse 102-106, D-50733 Köln (DE). GRÜNDL UND HOFFMANN GMBH GESELLSCHAFT FÜR ELEKTROTECHNISCHE ENTWICKLUNGEN [DE/DE]; Gautinger Strasse 6, D-82319 Starnberg (DE).			
(72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): MASBERG, Ullrich [DE/DE]; Nonnenweg 116, D-51503 Rösrath (DE). PELS, Thomas [DE/DE]; Mühlenweg 13, D-46359 Heiden (DE). ZEYEN, Klaus-Peter [DE/DE]; Von-Verth-Strasse 44, D-50670 Köln (DE). GRÜNDL, Andreas [DE/DE]; Haseneystasse 20, D-81377 München (DE). HOFFMANN,			

(54) Title: STARTER/GENERATOR FOR AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE, IN PARTICULAR A VEHICLE ENGINE

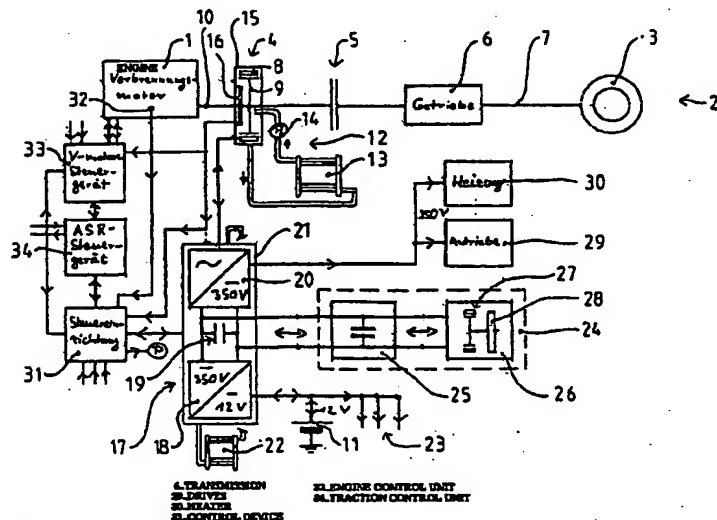
(54) Bezeichnung: STARTER/GENERATOR FÜR EINEN VERBRENNUNGSMOTOR, INSBESONDERE EINES KRAFTFAHRZEUGS

(57) Abstract

The invention concerns a starter/generator for an internal-combustion engine (1), in particular a vehicle engine, the starter/generator having a rotating-field electrical machine (4) which executes the starter and generator functions and at least one a.c./d.c. converter (17) which generates the voltage and/or current of variable frequency, amplitude and/or phase necessary to produce the magnetic field of the electrical machine (4), the electrical machine (4) turning together with the engine (1) to start it from rest.

(57) Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft einen Starter/Generator für einen Verbrennungsmotor (1), insbesondere eines Kraftfahrzeugs, mit einer elektrischen Drehfeldmaschine (4), welche die Starter- und Generatorfunktion ausübt; und wenigstens einem Wechselrichter (17) zum Erzeugen der für die magnetischen Felder der elektrischen Maschine (4) benötigten Spannungen und/oder Ströme variabler Frequenz, Amplitude und/oder Phase; wobei die elektrische Maschine (4) den Verbrennungsmotor (1) im Zusammenlauf aus dem Stand startet.



LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AM	Armenien	GB	Vereinigtes Königreich	MX	Mexiko
AT	Österreich	GE	Georgien	NE	Niger
AU	Australien	GN	Guinea	NL	Niederlande
BB	Barbados	GR	Griechenland	NO	Norwegen
BE	Belgien	HU	Ungarn	NZ	Neuseeland
BF	Burkina Faso	IE	Irland	PL	Polen
BG	Bulgarien	IT	Italien	PT	Portugal
BJ	Benin	JP	Japan	RO	Rumänien
BR	Brasilien	KE	Kenya	RU	Russische Föderation
BY	Belarus	KG	Kirgisistan	SD	Sudan
CA	Kanada	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SE	Schweden
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KR	Republik Korea	SG	Singapur
CG	Kongo	KZ	Kasachstan	SI	Slowenien
CH	Schweiz	LI	Liechtenstein	SK	Slowakei
CI	Côte d'Ivoire	LK	Sri Lanka	SN	Senegal
CM	Kamerun	LR	Liberia	SZ	Swasiland
CN	China	LK	Litauen	TD	Tschad
CS	Tschechoslowakei	LU	Luxemburg	TG	Togo
CZ	Tschechische Republik	LV	Lettland	TJ	Tadschikistan
DE	Deutschland	MC	Monaco	TT	Trinidad und Tobago
DK	Dänemark	MD	Republik Moldau	UA	Ukraine
EE	Estland	MG	Madagaskar	UG	Uganda
ES	Spanien	ML	Mali	US	Vereinigte Staaten von Amerika
FI	Finnland	MN	Mongolei	UZ	Usbekistan
FR	Frankreich	MR	Mauritanien	VN	Vietnam
GA	Gabon	MW	Malawi		

Starter/Generator für einen Verbrennungsmotor,
insbesondere eines Kraftfahrzeuges

15 Die Erfindung betrifft einen Starter/Generator für einen Verbrennungsmotor, insbesondere einen Verbrennungsmotor eines Kraftfahrzeugs.

20 Kraftfahrzeuge und andere mit Verbrennungsmotor ausgerüstete Fahrzeuge benötigen i.a. einen elektrischen Starter zum Starten des Verbrennungsmotors sowie einen Generator zur Versorgung elektrischer Verbraucher sowie zum Laden einer Batterie, welche u.a. die zum Starten benötigte elektrische Energie liefert. Seit der Frühzeit des Automobilbaus sind
25 Starter und Generator in der Regel zwei gesonderte elektrische Maschinen, die an ihre jeweilige Funktion besonders angepaßt sind. Ein Starter muß relativ hohe Drehmomente bei relativ niedriger Verbrennungsmotor-Drehzahl aufbringen und ist daher herkömmlicherweise hoch gegenüber dem Verbrennungsmotor übersetzt. Er läuft nicht dauernd mit, sondern
30 wird nur für den Startvorgang mit dem Verbrennungsmotor gekoppelt. Ein Generator läuft hingegen permanent mit dem Verbrennungsmotor und erreicht bei relativ hoher Übersetzung hohe Drehzahlen.

35 Die Vereinigung dieser beiden Funktionen in ein und derselben elektrischen Maschine ist ein anstrebenswertes Ziel,

da hierdurch eine der beiden herkömmlicherweise benötigten Maschinen eingespart werden kann.

5 Eine Möglichkeit, trotz der unterschiedlichen Anforderungen an Starter und Generator beide Maschinen zu vereinen, ist aus G. Henneberger: "Elektrische Motorausrüstung", Vieweg, Braunschweig 1990, S. 98 - 103 bekannt. Gemäß diesem Vor-
schlag startet die elektrische Maschine - bei der es sich
10 um eine wechselrichtergesteuerte Drehfeldmaschine handelt - den Verbrennungsmotor nicht selbst, sondern beschleunigt ein (zunächst vom Verbrennungsmotor entkoppeltes) Schwungrad. Bei Erreichen einer ausreichend hohen Drehzahl wird das Schwungrad mit Hilfe einer Reibkupplung mit der Kurbelwelle des Verbrennungsmotors gekoppelt. Die im Schwungrad
15 gespeicherte Rotationsenergie wirft dann den Verbrennungsmotor an. Im Generatorbetrieb ist die elektrische Maschine permanent durch die Reibkupplung mit dem Verbrennungsmotor gekoppelt. Diese Lösung hat den Vorteil, daß die Leistungen und Drehmomente der elektrischen Maschine beim Starten und
20 im Generatorbetrieb ähnlich sind. Nachteilig sind aber die große mechanische Belastung der Reibkupplung beim Einkuppeln des schnell laufenden Schwungrads, die u.a. zu Kupplungsverschleiß führt, sowie eine Totzeit vor jedem Startvorgang, welche jeweils zum Beschleunigen des Schwungrads
25 benötigt wird.

Die Erfindung geht einen anderen Weg, einen auf einer gemeinsamen elektrischen Maschine basierenden Starter/Generator für einen Verbrennungsmotor, insbesondere einen Verbrennungsmotor eines Kraftfahrzeugs bereitzustellen. Und zwar hat der erfindungsgemäße Starter/Generator

- eine elektrische Drehfeldmaschine, welche die Starter- und Generatorfunktion ausübt; und
- wenigstens einen Wechselrichter zum Erzeugen der für
35 die magnetischen Felder der elektrischen Maschine benötigten Spannungen und/oder Ströme variabler Frequenz, Amplitude und/oder Phase;

- wobei die elektrische Maschine den Verbrennungsmotor im Zusammenlauf aus dem Stand startet (Anspruch 1)..

Bei einem "Zusammenlauf" bleibt das Verhältnis der momentanen Drehzahlen des elektrischen Motors und des Antriebsaggregats - im Unterschied zu dem o.g. Schwungradstarter - im wesentlichen konstant (und zwar hat es insbesondere den Wert Eins). Zusammenlauf "aus dem Stand" bedeutet, daß die elektrische Maschine und das Antriebsaggregat - anders als bei dem o.g. Schwungrad-Starter - gemeinsam aus dem Stand hochlaufen.

Eine "elektrische Maschine" ist jede Art von Maschine für Rotationsbewegungen, die sowohl als elektrischer Motor wie auch als elektrischer Generator betrieben werden kann. Unter "Drehfeldmaschine" wird - im Gegensatz zu einer Stromwendermaschine - eine insbesondere kommutatorlose Maschine verstanden, in der ein magnetisches Drehfeld auftritt, das vorzugsweise 360° überstreicht.

Der Wechselrichter kann die für die magnetischen Felder benötigten Spannungen und/oder Ströme mit (innerhalb gewisser Grenzen) frei wählbarer Frequenz, Amplitude und/oder Phase erzeugen.

Der erfindungsgemäße Starter/Generator hat folgende Vorteile: Aufgrund des Zusammenlaufs aus dem Stand

- erfolgt das Starten schnell und ohne Totzeit,
- ist der Starter/Generator praktisch verschleißfrei,
- erreicht der Starter/Generator einen relativ hohen Wirkungsgrad (da keine Energie für Kupplungserwärmung und -verschleiß verbraucht wird),
- kann die Kupplung zwischen Verbrennungsmotor und elektrischer Maschine entfallen.

Gegenüber Fahrzeugen mit herkömmlichen gesonderten Starter- und Generatormaschinen bringt die Erfindung eine deutliche Gewichtsreduzierung.

Die elektrische Maschine des erfindungsgemäßen Starter/-
Generators läuft - anders als ein herkömmlicher Starter -
vorteilhaft permanent mit dem Verbrennungsmotor. Eine dort
benötigte Einspur- und Freilaufvorrichtung kann daher hier
5 entfallen.

Vorzugsweise sind die Relativdrehzahlen von Verbrennungs-
motor und elektrischer Maschine im Starter- und Generator-
betrieb gleich (Anspruch 2). Das heißt, die Übersetzung der
10 elektrischen Maschine ist bei beiden Betriebsarten gleich,
und wird nicht etwa beim Übergang vom Starter- zum Genera-
torbetrieb verringert.

Grundsätzlich kann die Kopplung der elektrischen Maschine
15 mit einer Triebwelle des Verbrennungsmotors mittelbar sein,
z.B. über ein Getriebe. Bevorzugt ist die elektrische Ma-
schine aber direkt mit der Triebwelle des Verbrennungsmo-
tors (z.B. der Kurbelwelle) oder eines Triebstrangs (z.B.
der Antriebswelle einer Kupplung oder eines Gangschalt-
20 oder Automatikgetriebes) gekoppelt oder koppelbar (Anspruch
3). Unter einer "direkten" Kopplung" wird insbesondere eine
getriebelose Kopplung des Läufers der elektrischen Maschine
mit der Triebwelle verstanden. Es handelt sich also nicht
etwa um eine indirekte Kopplung über Ritzel oder Zugmittel
25 (z.B. Keilriemen). Die Drehzahl des Läufers gleicht vor-
zugsweise der Drehzahl des Verbrennungsmotors.

Besonders bevorzugt ist eine Ausgestaltung, bei welcher die
elektrische Maschine auf der Triebwelle oder einer ggf.
30 koppelbaren Verlängerung sitzt und drehfest mit ihr ver-
bunden ist (Anspruch 4). Vorteile sind ein relativ geringer
Aufwand aufgrund der kleinen Anzahl beweglicher und kraft-
übertragender Teile, Verschleißfreiheit sowie vollständige
Geräuschlosigkeit beim Starten.

35

Die elektrische Drehfeldmaschine ist vorzugsweise eine
Asynchronmaschine, eine Synchronmaschine oder eine Reluk-

tanzmaschine, insbesondere für Drehstrom, z.B. Drei-Phasen-Strom (Anspruch 5). Eine Asynchronmaschine hat i.a. einen relativ einfach aufgebauten Läufer (i. a. einen Läufer mit Kurzschlußwicklungen oder Wicklungen, deren Enden an Schleifringe geführt sind), in dem durch die magnetischen Drehfelder des Ständers, die der Bewegung des Läufers vor- oder nachteilen, Ströme induziert werden. Sie weist daher hinsichtlich der Erstellungskosten und der mechanischen Belastbarkeit Vorteile auf, ist jedoch steuerungstechnisch aufwendiger, da Betrag und Phasenwinkel des Läuferstromes lastabhängig, aber nicht direkt über Ständergrößen meßbar, sondern nur errechenbar sind. Hingegen haben Synchronmaschinen Läufer mit vorgegebenen ausgeprägten Polen, die durch Permanent- oder Elektromagnete erzeugt werden. Die Elektromagnete können z.B. über Schleifringe mit Strom gespeist werden. Synchronmaschinen haben im allgemeinen höhere Erstellungskosten, sind aber steuerungstechnisch einfacher zu handhaben, da bei ihnen das Drehmoment im wesentlichen vom Läuferwinkel abhängt, der mit Hilfe eines Läuferlage-Gebers direkt meßbar ist. Sie erfordern daneben einen geringeren Aufwand in der Leistungselektronik, können kompakter ausgeführt sein, haben einen geringeren Rückkühlbedarf und erzielen einen besseren Wirkungsgrad. Reluktanzmaschinen gehören im weiteren Sinn zu den Synchronmaschinen.

Insbesondere bei der Asynchronmaschine erfolgt die Steuerung der elektrischen Maschine vorzugsweise auf der Grundlage einer feldorientierten Regelung (sog. Vektorregelung). Hierbei wird, ausgehend von direkt meßbaren momentanen Größen, wie angelegte Spannung, Ständerstrom und ggf. Drehzahl, anhand eines rechnerischen dynamischen Maschinenmodells der Ständerstrom in eine drehmomentbildende Komponente, die mit dem Läuferfluß das Drehmoment erzeugt, und eine senkrecht dazu verlaufende, den Maschinenfluß erzeugende Komponente rechnerisch zerlegt und so das Drehmoment ermittelt. Diese Steuerungstechnik erlaubt es - obwohl die

Stromverhältnisse im Läufer nicht direkt meßbar sind - ein gewünschtes Drehmoment mit hoher Genauigkeit einzustellen.

Bei dem erfindungsgemäßen Starter/Generator handelt es sich um ein dem Verbrennungsmotor zugeordnetes Hilfssystem. Wegen seines Hilfs-Charakters sollte er relativ zum Verbrennungsmotor wenig Raum beanspruchen, also möglichst kompakt sein. Dabei muß der Starter/Generator zum Starten relativ hohe Drehmomente aufbringen können und soll für die Generatorfunktion einen möglichst hohen Wirkungsgrad aufweisen. Die im folgenden genannten vorteilhaften Maßnahmen dienen u.a. einem kompakten Aufbau bei großer Drehmomentabgabe und hohem Wirkungsgrad.

Eine Maßnahme zur Erzielung hoher Kompaktheit liegt darin, daß die drehfelderzeugende Wirkeinheit der elektrischen Maschine (das heißt i.a. der Ständer) wenigstens 8 magnetische Pole (bezogen auf 360°) hat (Anspruch 6). Besonders vorteilhaft sind feinere Polteilungen, entsprechend z.B. 10, 12, 14, 16 oder mehr Polen (bei kreisförmig geschlossener Maschine). Zu der Art und Weise, wie man Drehstromwicklungen mit einer bestimmten Anzahl von Polen realisiert, wird z.B. verwiesen auf G. und H. Häberle: "Elektrische Maschinen in Anlagen der Energietechnik", Verlag Europa-Lehrmittel, Haan-Gruiten, 3. Auflage, 1994, Seiten 169 - 172.

Eine hohe Polzahl erlaubt es unter anderem, die Wickelköpfe des Ständers klein auszubilden, und zwar sowohl in Axial- wie auch in Umfangsrichtung der Maschine, so daß die Maschine in Axialrichtung insgesamt kürzer ausgebildet sein kann. Vorzugsweise beträgt der axiale Überstand der Wickelköpfe auf jeder Seite des Ständers nur 5 - 25 mm, insbesondere 10 - 20 mm. Die axiale Breite des Ständerrückens beträgt vorzugsweise 25 - 100 mm. Bei einem Überstand von 2 mal 15 mm und einer Rückenbreite von 40 mm ergibt sich beispielsweise eine axiale Gesamtbreite des Ständers von 70

mm, wobei das Verhältnis von Rückenbreite zu Gesamtbreite 0,57 beträgt. Vorzugsweise liegt dieses Verhältnis zwischen 0,4 und 0,8, besonders vorzugsweise zwischen 0,55 und 0,8. Neben dem Vorteil einer kompakteren Ausbildung der Maschine sind wegen der geringeren Wickeldrahtlänge - kleinere Wickelköpfe benötigen weniger nicht-aktiven Wicklungsdraht - die ohmschen Verluste geringer. Ferner ist das Streufeld (das den Blindleistungsanteil wesentlich bestimmt) kleiner, da es von der Wickelkopffläche abhängt.

10

Eine feine Polteilung erlaubt unter anderem, den Ständerücken für den magnetischen Rückfluß dünner (und damit auch leichter) auszubilden, mit der Folge, daß bei gleichem Außendurchmesser der Maschine der Läufer einen größeren Durchmesser haben kann. Größerer Läuferdurchmesser führt wegen des in Umfangsrichtung längeren Luftspaltes und des größeren wirksamen Hebelarms zu einem größeren Drehmoment. Die Dicke des Rückens in Radialrichtung, die sich zusammensetzt aus der Höhe von Zähnen und der Dicke des durchgehenden Rückenteils, beträgt vorteilhaft 10 - 50 mm, vorzugsweise 15 - 30 mm und ist besonders vorzugsweise kleiner oder gleich 25 mm. Der Außendurchmesser des Rückens beträgt vorzugsweise 230 - 450 mm und besonders vorzugsweise 250 mm - 350 mm. Das Verhältnis von zweifacher Rückendicke zum Rückenaußendurchmesser beträgt vorzugsweise 0,05 - 0,25 und besonders vorzugsweise 0,1 - 0,2. Beispielsweise hat eine Maschine mit einem Rückenaußendurchmesser von 300 mm eine Zahnhöhe von 15 mm und eine Dicke des durchlaufenden Rückenteils von 10 mm, insgesamt also eine Rückendicke von 25 mm. Das obige Verhältnis beträgt dann 50 mm zu 300 mm, also 0,167.

30

Insgesamt führen somit eine feine Polteilung, kleine Wickelköpfe und ein dünner Ständerrücken zu einer kompakteren und leichteren Maschine.

35

- Bei schnell laufenden Drehfeld-Maschinen sind hohe Polzahlen unüblich, da sie eine relativ hohe Polwechselfrequenz bedingen. Ein üblicher Wert für die Polwechselfrequenz beträgt beispielsweise 120 Hz. Die im Rahmen der Erfindung verwendete elektrische Maschine hat hingegen vorteilhaft eine hohe maximale Polwechselfrequenz, vorzugsweise zwischen 300 und 1600 Hz und mehr, besonders vorzugsweise zwischen 400 Hz und 1500 Hz (Anspruch 7).
- Um den Einfluß von Wirbelströmen im Ständer - die mit steigender Polwechselfrequenz zunehmen - zu verringern, weist der Ständer vorteilhaft dünne Ständerbleche, vorzugsweise mit einer Dicke von 0,35 mm oder weniger, besonders vorzugsweise 0,25 mm oder weniger auf. Als weitere Maßnahme zur Verringerung der Verluste sind die Ständerbleche vorzugsweise aus einem Material mit niedrigen Ummagnetisierungsverlusten, insbesondere kleiner als 1 Watt/kg bei 50 Hz und 1 Tesla, gefertigt (Anspruch 8).
- Als weitere Maßnahme, die zu einer kompakten Ausbildung beiträgt, weist die elektrische Maschine vorteilhaft eine innere Fluidkühlung auf (Anspruch 9). Bei dem Fluid kann es sich grundsätzlich um Gas (z.B. Luft) und vorteilhaft um Flüssigkeit (z.B. Öl) handeln. Eine Kühltechnik besteht darin, die Maschine im Inneren (d.h. in dem den Läufer aufnehmenden Raum) ganz unter Kühlflüssigkeit zu setzen. Ein Nachteil hiervor ist jedoch, daß oberhalb ca. 500 min⁻¹ Turbulenzverluste auftreten, die oberhalb ca. 2000 min⁻¹ merkliche Ausmaße annehmen können. Um dem zu begegnen, erfolgt die Zufuhr der Kühlflüssigkeit vorteilhaft verlustleistungs- und/oder drehzahlabhängig, und zwar vorzugsweise mit einer Sprühflüssigkeitskühlung. In der Maschine befindet sich dann immer nur im wesentlichen soviel Kühlflüssigkeit, wie momentan zur Abfuhr der Verlustleistung benötigt wird. Bei sehr hohen Verlustleistungen und/oder niedrigen Drehzahlen kann die ganze Maschine unter Kühlflüssigkeit gesetzt werden. Die Sprühflüssigkeitsküh-

lung stellt einen höchst wirksamen Wärmeübergang sowie eine besonders gute Verteilung der Flüssigkeit sicher.

5 Die elektrische Maschine hat vorzugsweise einen eigenen abgeschlossenen Kühlmittelkreislauf. Zur Abführung der Wärme nach außen (z.B. in die Atmosphäre) kann dieser einen autarken Rückkühler (z.B. einen Luftkühler) aufweisen. Möglich ist aber auch ein parasitärer Rückkühler, welcher die Abwärme in ein anderes Kühlsystem einbringt, bei dem es
10 z.B. um den Verbrennungsmotor- oder Getriebeöl-Kühlkreislauf eines Kraftfahrzeugs handeln kann. Die Abwärme wird dann durch den Rückkühler des anderen Kühlsystems nach außen abgegeben. Der parasitäre Rückkühler kann sehr einfach und kompakt aufgebaut sein, z.B. in Form eines Kühlers, der in
15 die Kühlflüssigkeit des anderen Kühlsystems eingetaucht ist und aufgrund des guten Wärmeübergangs nur eine relativ geringe Oberfläche benötigt. Alternativ kann die elektrische Maschine aber auch keinen eigenen abgeschlossenen Kühlkreislauf haben, sondern kann in einen anderen Kühlkreislauf integriert sein, etwa in einen Getriebeöl-Kühlkreislauf.
20

Um besonders hohe Drehmomente zu erzielen, arbeitet die elektrische Maschine vorzugsweise stark im Bereich magnetischer Sättigung. Ein Maß für die magnetische Sättigung
25 ist der Strombelag (bei maximalem Drehmoment) im Ständer pro cm, Luftspaltlänge in Umfangsrichtung. Vorzugsweise beträgt dieses Maß wenigstens 400 - 1000 A/cm, besonders vorzugsweise wenigstens 500 A/cm (Anspruch 10). Ein anderes Maß für die magnetische Sättigung ist der sog. Abplattungsfaktor: Er gibt an, wie stark bei sinusförmigem Erregerstrom das Verhältnis von Spitzenwert zum arithmetischen Mittelwert des Betrags des Magnetfelds ist. Er beträgt bei
30 rein sinusförmigem Verlauf 1,57, bei üblichen elektrischen Maschinen etwa 1,35, und bei dieser bevorzugten Ausgestaltung 1,05 - 1,15. Das Arbeiten stark im Sättigungsbereich hat den weiteren Vorteil, daß die Maschine einen relativ
35

weiten Luftspalt zwischen den Wirkeinheiten (i.a. Läufer und Ständer) aufweisen kann. Die Weite des Luftspalts beträgt vorzugsweise 0,25 - 2,5 mm, vorzugsweise 0,5 - 1,5 mm, und besonders vorzugsweise 0,75 - 1,5 mm. Änderungen des Luftspaltes - wie sie bei Radialschwingungen der den Läufer tragenden Welle auftreten - wirken sich wegen des Betriebs im Sättigungsbereich kaum aus. Neben der Robustheit gegenüber Radialschwingungen erlaubt diese Maßnahme auch eine Herabsetzung der Genauigkeitsanforderungen und damit eine beträchtliche Vereinfachung der Fertigung der elektrischen Maschine.

Quantitativ läßt sich die Kompaktheit durch die Größe "Drehmomentdichte" ausdrücken. Vorzugsweise weist die elektrische Maschine eine hohe Drehmomentdichte - bezogen auf das maximale Drehmoment - auf, die besonders vorzugsweise größer als $0,01 \text{ Nm/cm}^3$ ist (Anspruch 11).

Eine derart kompakt aufgebaute elektrische Maschine hat im allgemeinen eine relativ geringe Induktivität. Um hier dennoch beispielsweise mit Hilfe einer getakteten Spannung einen möglichst glatten sinusförmigen Strom zum Erzeugen der elektrischen Drehfelder zu erzielen, arbeitet der Wechselrichter vorteilhaft zumindest zeitweise mit einer hohen Taktfrequenz, vorteilhaft 10 kHz bis 100 kHz, insbesondere 20 kHz bis 100 kHz und höher (Anspruch 12). Eine hohe Taktfrequenz hat auch den Vorteil, eine kompakte Bauweise des Wechselrichters selbst zu erlauben: Denn beispielsweise bei einem Spannungszwischenkreis-Wechselrichter ist die Kapazität im Zwischenkreis, welche den elektronischen Schaltern des Wechselrichters die Zwischenkreisspannung bereitstellt, umgekehrt proportional zur Frequenz, so daß bei höherer Taktfrequenz hierfür eine kleinere Kapazität ausreicht. Die kleineren Zwischenkreiskondensatoren können mit kurzen Leitungswegen unmittelbar neben den elektronischen Schaltern angeordnet werden. Ferner kann eine nötige EMV-Filterung (EMV: Elektromagnetische Verträglichkeit) des Wechsel-

richters nach außen kompakter ausgeführt sein, da die Größe der Filter umgekehrt proportional zur Taktfrequenz ist.

5 Unter einem "Zwischenkreis" versteht man einen Kreis, welcher im wesentlichen Gleichspannung bzw. -strom liefern kann, aus der ein nachgeschalteter Wechselrichter-Teil (der sog. Maschinen-Wechselrichter) durch Pulsen oder Takten variable Wechselspannungen bzw. -ströme bilden kann. Diese Gleichspannung bzw. dieser Gleichstrom muß daher mit großer
10 Flankensteilheit bereitgestellt werden. Eine Fahrzeugbatterie ist hierzu meist zu träge, man verwendet daher z.B. eine Kapazität als Energiespeicher im Zwischenkreis. Im allgemeinen umfaßt ein Zwischenkreis-Wechselrichter drei Baugruppen, und zwar eine Eingangsbaugruppe zur Versorgung mit bzw. Abfuhr von elektrischer Energie, eine Ausgangs-
15 baugruppe in Form des Maschinen-Wechselrichters und den dazwischenliegenden Zwischenkreis.

20 Als weitere vorteilhafte Maßnahme zur Erzielung einer kompakten Bauweise des Wechselrichters sind elektronische Schalter des Wechselrichters fluidgeköhlt, vorzugsweise siedebadgeköhlt (Anspruch 13). Als Siedebad-Kühlmittel kann beispielsweise ein Fluorkohlenwasserstoff verwendet werden. Bei der Siedebadkühlung verdampft das flüssige Kühlmittel
25 an Wärmequellen und entzieht ihnen dadurch seine relativ hohe Verdampfungswärme. Der Dampf steigt auf und kann z.B. in einem externen Kühler kondensieren und dabei seine Verdampfungswärme abgeben. Diese Kühltechnik erlaubt kompakteste Anordnung der elektronischen Schalter des Wechselrichters ohne jegliche Kühlkörper. Daneben hat sie den Vorteil,
30 daß zur Erreichung auch hoher Kühlleistung relativ geringe Temperaturdifferenzen ausreichen: Während bei einer Luftkühlung üblicherweise eine Temperaturdifferenz von 40° C zwischen Kühloberfläche und dem Gehäuse eines zu kühlenden Chips nötig ist, reicht hier bereits eine Differenz von 2-
35 10° C, insbesondere ungefähr 5° C aus. Als Folge sind hohe Umgebungstemperaturen tolerabel, beispielsweise bei einer

Chiptemperatur von 65° C eine Umgebungstemperatur bis 60° C. Die Abwesenheit von Kühlkörpern und die hohe erzielbare Kompaktheit ermöglicht ferner eine hohe Rüttelfestigkeit; daneben erlaubt das Siedebad die Schaffung einer sauerstofffreien Atmosphäre im Bereich der elektronischen Bauelemente des Wechselrichters, was sich insgesamt lebensdauerverlängernd auswirkt. Das den Kühlraum bildende Gehäuse kann - wenn es aus leitendem Material ausgeführt ist - auch als Abschirmung dienen. Elektrische Zwischenkreisspeicherelemente zum Bereitstellen zu taktender Spannung bzw. zu taktenden Stroms (z.B. die o.g. Kapazität) können innerhalb des Kühlgehäuses angeordnet sein, wodurch sich kurze Leitungswege ergeben können. Ein ggf. gesonderter elektrischer Bremsenergie-Speicher kann innerhalb oder außerhalb des Kühlgehäuses angeordnet sein. Die im letzteren Fall möglicherweise relativ hohen Zuleitungsinduktivitäten stören nicht, da der Bremsenergie-Speicher auf einer relativ "langsamen" Zeitskala arbeitet.

Eine weitere kühltechnisch vorteilhafte Maßnahme besteht darin, mehrere elektronische Schalter des Wechselrichters, insbesondere 2 bis 20 und mehr, parallel zu schalten (Anspruch 14). Die Parallelschaltung führt zu einer verteilten Anordnung der Wärmequellen und damit einer relativ geringen Verlustleistungsdichte.

Der Wechselrichter umfaßt vorteilhaft als Schalter Halbleiterschalter, vorzugsweise schnelle Halbleiterschalter, wie Feldeffekttransistoren - besonders vorzugsweise Metall-oxidhalbleiter(MOS)-Feldeffekttransistoren, bipolare Transistoren und/oder bipolare Transistoren mit isoliertem Gateanschluß (IGBTs) (Anspruch 15). Unter "schnellen" Halbleiterschaltern werden insbesondere solche verstanden, welche die o.g. Taktfrequenzen erlauben. MOS-Feldeffekttransistoren haben bei hohen Taktfrequenzen die relativ geringsten Verluste. Sie weisen eine Ohmsche Charakteristik auf (während andere Halbleiterbauelemente im allgemeinen

eine feste Verlustcharakteristik haben), so daß im Teil-
lastbetrieb die Verluste relativ gering sind.

5 Der Wechselrichter ist vorzugsweise ein Pulswechselrichter,
d.h. er erzeugt die für die magnetischen Felder der elek-
trischen Maschine benötigten Spannungen und/oder Ströme
vorzugsweise durch Pulse, insbesondere auf der Grundlage
10 von Pulsweiten- oder Pulsamplitudenmodulation (Anspruch
16). Er kann dies vorteilhaft mit Hilfe elektronischer
Schalter tun, welche die Pulse aus einer vorgegebenen
Gleich- oder Wechselspannung oder einem vorgegebenen
Gleich- oder Wechselstrom herauschneiden. Beispielsweise
15 bei einem Zwischenkreis-Wechselrichter mit konstanter Zwi-
schenkreisspannung lassen sich durch sinusbewertete Puls-
weitenmodulation bei hohen Taktfrequenzen aufgrund der
Maschineninduktivität nahezu sinusförmige Ströme beliebig
einstellbarer Frequenz, Amplitude und/oder Phase erzeugen.
Bei der Pulsamplitudenmodulation geht man beispielsweise
20 aus von einem Wechselrichter mit variabler Zwischenkreis-
spannung und erzeugt so Pulse verschiedener Amplituden.

Um die für den Startvorgang benötigte, hohe elektrische
Leistung ohne übermäßige Belastung der Fahrzeugbatterie
bereitstellen, ist vorteilhaft ein Energiespeicher vor-
25 gesehen, der vor dem Startvorgang mit Energie aufgeladen
wird und dem dann die benötigte Energie kurzfristig ent-
nommen wird. Vorzugsweise ist hierfür der Wechselrichter
als Zwischenkreis-Wechselrichter ausgebildet, der im Zwi-
schenkreis wenigstens einen Energiespeicher für die Start-
30 energie aufweist oder mit wenigstens einem solchen gekop-
pelt ist (Anspruch 17). Bei dem Speicher kann es sich ins-
besondere um einen elektrischen, magnetischen und/oder
elektrochemischen Speicher, wie eine Kapazität, eine Induk-
tivität und/oder eine (schnelle) Batterie handeln. Der kann
35 neben der Speicherung der Startenergie auch anderen Auf-
gaben dienen. Beispielsweise kann er die zum Pulsbetrieb
des Wechselrichters nötige Energie speichern. (im letzteren

Fall könnte er mit dem üblichen Zwischenkreis-Speicher zusammenfallen). Im übrigen kann die Ausbildung des Stromrichters als Zwischenkreis-Stromrichter in jedem Fall - z.B. auch ohne Speicher für die Startenergie und ggf. die Bremsenergie - vorteilhaft sein.

Bei herkömmlichen Kraftfahrzeugen, anderen Fahrzeugen und auch stationären Antriebsaggregaten gibt es häufig Hilfsmaschinen, welche - da sie relativ hohe Leistung aufnehmen - mechanisch vom Antriebsaggregat (d.h. vom Verbrennungsmotor) angetrieben werden, z.B. über Riementriebe. Hierbei kann es sich z.B. um Klimamaschinen, Servoantriebe (z.B. für Brems- und Lenkunterstützung), Pumpen oder ähnliches handeln. Eine derartige mechanische Antriebskopplung ist i.a. nicht optimal, da die Hilfsmaschine dem Antriebsaggregat durch die von ihm vorgegebenen Drehzahl-Zustände folgen muß. Sie läuft damit einerseits nicht konstant bei ihrer optimalen Betriebsgröße (z.B. der Drehzahl bei einer rotatorischen Hilfsmaschine) und muß andererseits auch dann laufen, wenn dies mangels abgefragter Hilfsleistung gar nicht nötig wäre. Diese Nachteile können mit dem erfindungsgemäßen Starter/Generator, der als Hochleistungsmaschine ausgebildet sein kann, überwunden werden. Vorteilhaft liefert die elektrische Maschine Strom auf relativ hohem Spannungsniveau, vorzugsweise im oberen Bereich der Niederspannung, wo gerade noch nicht für besonderen Berührungsschutz gesorgt werden muß (z.B. etwa 60 V Gleichspannung). Geht man darüber hinaus, wird vorzugsweise ein Bereich von 250 - 450 Volt gewählt. Man betreibt vorteilhaft die Hilfsmaschinen elektrisch auf diesen hohen Spannungsniveaus (Anspruch 18). Ein derart hohes Spannungsniveau kann insbesondere bei einem Zwischenkreis-Wechselrichter im Zwischenkreis bereits vorliegen, und braucht so nicht besonders für diesen Zusatzzweck erzeugt zu werden. Ein elektrischer statt eines mechanischen Hilfsmaschinen-Antriebs ist deshalb möglich, da aus dem hohen Spannungsniveau relativ kleine Ströme resultieren (im Gegensatz etwa zu dem 12-

Volt-Spannungsniveau eines herkömmlichen Kraftfahrzeugnetzes). Elektrisch angetrieben kann man die Hilfsmaschinen im Bedarfsfall bei ihrer optimalen Drehzahl laufen lassen und ansonsten abschalten. Man erreicht so eine deutliche Erhöhung des Gesamtwirkungsgrades. Vorteilhaft werden sämtliche Geräte und Hilfsantriebe eines Kraftfahrzeugs elektrisch betrieben. Der Verbrennungsmotor dient dann nur als Hauptantriebsmotor für das Fahrzeug sowie als Antriebsmotor des Generators. Für Niederleistungsverbraucher kann ein herkömmliches Niederspannungsbordnetz (z.B. 12 V oder 24 V) vorgesehen sein. Die Fahrzeugbatterie kann im Bereich des höheren Spannungsniveaus oder ggf. des Niederspannungsbordnetzes angeordnet sein.

Vorteilhaft ist auch ein (weiterer) Wechselrichter zur Lieferung von 220 V Wechselstrom und/oder 380 V Drehstrom mit üblicher Netzfrequenz (z.B. 50 Hz) vorgesehen. Die Versorgung dieses weiteren Wechselrichters kann ebenfalls aus dem (Gleichspannungs-)Zwischenkreis erfolgen. Ein so ausgestattetes Fahrzeug erlaubt die Versorgung normaler elektrischer Netzgeräte und stellt damit einen fahrbaren Netzstrom-Generator dar, der z.B. vorteilhaft bei Außenarbeiten einsetzbar ist.

Die Umwandlung elektrischer Energie aus dem Zwischenkreis in Wechselstrom kann vorteilhaft auch der Versorgung eines Wechselspannungs-Bordnetzes des Fahrzeugs dienen. Ein solches Netz hat den Vorteil, daß aus der Bordnetzspannung durch Transformatoren bei den einzelnen Verbrauchern beliebige, an den jeweiligen Verbraucher angepaßte Spannungen erzeugt werden können. Besonders vorteilhaft ist die Wechselspannung hochfrequent (d.h. die Frequenz ist größer als 1 kHz), da dann die Transformatoren besonders klein und leicht ausgebildet sein können.

Die Möglichkeit, den Starter/Generator als Hochleistungsmaschine ggf. auf hohem Spannungsniveau auszubilden, er-

laubt dessen Einsatz für Heizzwecke im Fahrzeug (Anspruch 19). Es kann sich hierbei z.B. um eine elektrische Beheizung des Verbrennungsmotors, z.B. durch Beheizung des Kühlkreislaufts (insbesondere für den Winterbetrieb von direkt einspritzenden Turbo-Dieselmotoren), eines Fahrgastraums, eines Abgaskatalysators des Verbrennungsmotors, eines Kraftstofffilters, einer Scheibenwaschanlage, von Außenspiegeln und/oder von Fensterscheiben des Fahrzeugs handeln. Derartige Beheizungen sind bei herkömmlichen Kraftfahrzeugen entweder nicht, nur unzureichend oder nur durch Abwärme des Verbrennungsmotors möglich. Die elektrische Beheizung hat - abgesehen von Komforterhöhung etwa bei einer Unterstützung einer Fahrgastinnenraum-Heizung - vorteilhafte Auswirkungen für die Umweltfreundlichkeit von Kraftfahrzeugen: Elektrische Motor- und Katalysatorheizungen bringen den Verbrennungsmotor bzw. den Katalysator schnell auf Betriebstemperatur und erlauben zudem eine genaue und schnelle Regelung der Betriebstemperaturen. Dies sind wichtige Maßnahmen zum Erfüllen strenger Emissionsbestimmungen. Die Steuerung und Regelung der verschiedenen Heizungen, insbesondere der Motor- und Katalysatorheizung, kann von der Steuerung des Starter/Generators zur Ansteuerung des Wechselrichters mit übernommen werden.

Aufgrund seiner Geräusch- und Verschleißarmut sowie der fehlenden Totzeit ist der Starter/Generator für sehr häufiges Starten geeignet. Er wird daher vorteilhaft mit einer Start-Stop-Steuerung des Verbrennungsmotors kombiniert, bei welcher der Verbrennungsmotor nur im Bedarfsfall läuft und ansonsten abgestellt wird (Anspruch 20). Denn im Stadtverkehr laufen Verbrennungsmotoren von Kraftfahrzeugen aufgrund häufiger Halte an Ampeln und Kreuzungen einen beträchtlichen Teil ihrer Betriebszeit im Leerlauf. Dies stellt eine erhebliche Ressourcenverschwendung und Umweltbelastung dar, da es einen an sich unnützen Mehrverbrauch an Kraftstoff mit einhergehender Emission giftiger, kli-

maaktiver oder sonstwie schädlicher Abgase mit sich bringt.

Die automatische Start-Stop-Steuerung veranlaßt vorzugsweise ein automatisches Stoppen des Verbrennungsmotors, wenn eine Stopbedingung (oder eine von mehreren) erfüllt ist. Zur Definition einer Stopbedingung können verschiedene Bedingungen allein oder in (Unter-)Kombination dienen, z.B.: Nullast, Schiebebetrieb, Leerlauf, Stillstand des Kraftfahrzeugs (d.h. Fahrgeschwindigkeit unterhalb eines bestimmten kleinen Wertes, z.B. 4 km/h), Verbrennungsmotor ist ausgekuppelt, kein Gang ist eingelegt, die Betriebs- oder Feststellbremse ist betätigt, Betätigung eines Stoppschalters.

Entsprechend veranlaßt die Start-Stop-Steuerung vorzugsweise bei Vorliegen einer Startbedingung (oder einer von mehreren) ein automatisches Starten des Verbrennungsmotors mit Hilfe der elektrischen Maschine. Auch zur Definition der Startbedingung können verschiedene Bedingungen allein oder in (Unter-)Kombination dienen, z.B.: Betätigung des Fahrpedals, Lösen der Betriebs- bzw. Feststellbremse, Betätigen der Kupplung, Berühren oder Bewegen eines Gangschalthebels, Einlegen eines Ganges, Betätigen eines Startschalters.

Herkömmliche Starter bringen wegen ihrer hohen Übersetzung den Verbrennungsmotor nur auf eine relativ niedrige Start-Drehzahl (typischerweise 80-250 U/min), die weit unterhalb dessen Leerlauf-Drehzahl (typischerweise 600-800 U/min) liegt. Die Drehzahldifferenz zwischen Start-Drehzahl und der Leerlauf-Drehzahl muß der Verbrennungsmotor dann aus eigener Kraft überwinden. Er benötigt hierfür jedoch - da er sich bei diesen Drehzahlen weit unterhalb seiner Leerlauf-Drehzahl in einem sehr ungünstigen Betriebsbereich befindet - ein relativ großes Quantum Kraftstoff, welches zudem nur unvollständig verbrennt. Jeder Motorstart ist daher mit zusätzlichem Kraftstoffverbrauch und besonders

umweltschädlichen Emissionen verbunden. Vorzugsweise ist daher das Antriebssystem so ausgebildet, daß die elektrische Maschine wenigstens im wesentlichen bis zum Erreichen der Leerlauf-Drehzahl des Verbrennungsmotors (welche bei 5 Betriebstemperatur üblicherweise zwischen 600 und 800 U/min liegt) antreibend wirkt. Diese Maßnahme läßt den Verbrennungsmotor praktisch erst bei Erreichen seiner Leerlaufdrehzahl anlaufen und läßt so das betrieblich ungünstige Hochlaufen aus eigener Kraft entfallen. Sie vermindert 10 damit den Kraftstoffverbrauch und die besonders schädlichen Emissionen beim Starten und macht zudem den Startvorgang schneller. Die Maßnahme ist also bei Fahrzeugen mit und ohne Start-Stop-Automatik ökologisch besonders vorteilhaft.

15 Vorteilhaft kann die elektrische Maschine neben ihren Funktionen als Starter und als Generator andere Funktionen ausführen:

Eine erste vorteilhafte Zusatzfunktion besteht darin, daß 20 die elektrische Maschine ein Beschleunigen und/oder Abbremsen der Welle herbeiführt oder unterstützt, beispielsweise um das Kraftfahrzeug zu beschleunigen oder abzubremesen (Anspruch 21). Zum Abbremsen kann die elektrische Maschine als verschleißfreie, zwecks Energierückgewinnung vorteilhaft 25 generatorische (Retarder-)Bremse dienen. Im Zusammenhang mit einer Antriebs-Schlupf-(ASR-)Regelung kann die elektrische Maschine durch Bremsen schnell das Gesamt-Antriebsmoment und damit den Schlupf eines oder mehrerer Antriebsräder verringern. Bei einem antreibenden Zusatz- 30 Drehmoment zwecks Beschleunigungsunterstützung kann der Verbrennungsmotor bei ungeänderten erreichbaren Fahrzeugbeschleunigungswerten schwächer dimensioniert werden, so daß er im Mittel bei höherem Mitteldruck arbeitet und daher weniger Kraftstoff verbraucht. Somit trägt auch diese Maß- 35 nahme zur Verringerung schädlicher Emissionen bei. Die Beschleunigungsunterstützung kann vorteilhaft so gesteuert sein, daß sie die Momentenkennlinie des Verbrennungsmotors

glättet, beispielsweise indem sie in einem Drehzahlbereich mit relativ niedrigem Drehmoment (z.B. im sog. "Turboloçh" bei einem mit Turbolader aufgeladenen Motor) ein entsprechend größeres Zusatzdrehmoment aufbringt als in anderen
5 Drehzahlbereichen.

Als zweite vorteilhafte Zusatzfunktion wirkt die elektrische Maschine als elektromagnetische Kupplung im Antriebsstrang und/oder als aktive Getriebesynchronisiereinrichtung
10 (Anspruch 22). Sie kann anstelle oder zusätzlich zu einer herkömmlichen Reibkupplung oder einem herkömmlichen hydrodynamischen Wandler angeordnet sein. Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung ist die elektrische Maschine insgesamt drehbar gelagert, hat also neben dem drehbaren Läufer auch
15 einen drehbaren Ständer. Eines dieser Wirkelemente (Läufer oder Ständer) ist mit der z.B. vom Verbrennungsmotor kommenden Antriebswelle verbunden, das andere mit der z.B. zum Getriebe führenden Abtriebswelle. Durch Einstellen einer zeitlich abnehmenden Relativedrehzahl (d.h. eines abnehmenden Schlupfes) zwischen Läufer und Ständer wird der transiente Vorgang wie beim Einkuppeln einer Reibungskupplung erzielt. Verschwindender Kupplungs-Schlupf steht am Ende des Einkuppelungsvorgangs. Zur Vermeidung elektrischer Verluste kann dann vorteilhaft eine mechanische Überbrückungskupplung eingekuppelt werden. Zur Erzielung der Generatorfunktion stellt man - ohne Überbrückungskupplung - einen geringfügig bremsenden Kupplungs-Schlupf ein. Zum Starten legt man die Abtriebswelle, z.B. mit Hilfe einer Bremsvorrichtung fest, gegen die beim Starten die Drehmomentabstützung der elektrischen Maschine erfolgt. Im Rahmen einer ASR-Regelung kann der Antriebsschlupf statt durch Bremsen auch durch Vergrößern des Kupplungsschlupfes (nach Lösen einer Überbrückungskupplung) verringert werden. Als aktive Getriebesynchronisiereinrichtung wirkt die elektrische
35 Maschine in Abstützung auf die Antriebswelle bremsend oder beschleunigend auf die zum Getriebe führende Abtriebswelle, je nachdem wie dies im Verlauf eines Gangschaltvorgangs zur

Erzielung eines Gleichlaufs von Getrieberädern benötigt wird.

5 Eine dritte Zusatzfunktion besteht darin, daß die elektrische Maschine Drehungleichförmigkeiten aktiv verringert, indem sie ein schnell alternierendes Drehmoment gegenphasig zu den Drehungleichförmigkeiten erzeugt (Anspruch 23). Dieses alternierende Drehmoment kann dem konstanten oder langsam variierenden Drehmoment der Generatorfunktion oder
10 ggf. der Brems- oder Boosterfunktion additiv überlagert sein.

Bei den Drehungleichförmigkeiten kann es sich insbesondere um solche handeln, die bei dem Verbrennungsmotor (der insbesondere ein Hubkolbenmotor mit innerer Verbrennung ist)
15 durch die auf die Kurbelwelle wirkenden Gas- und/oder Massenkräfte der einzelnen Hubkolben auftreten. Beispielsweise zeigt ein Vierzylinder-Viertaktmotor relativ große Drehungleichförmigkeiten in der zweiten Ordnung (d.h. dem zweifachen der Drehfrequenz des Motors). Daneben gibt es Drehungleichförmigkeiten bei höheren Ordnungen sowie stochastisch auftretende Ungleichförmigkeiten.
20

Bei Ausgestaltungen, bei denen die elektrische Maschine außerdem als elektromagnetische Kupplung wirkt, kann an die
25 Stelle des schnell alternierend bremsenden und antreibenden Drehmoments ein schnell variierend größerer und kleinerer Kupplungsschlupf treten.

30 Unter "schnell" wird hier eine Variation im Frequenzbereich der zu verringernden Drehungleichförmigkeiten verstanden, also z.B. bei der Drehungleichförmigkeit der 2. Ordnung und bei einer Drehzahl von 3000 min^{-1} eine Variation mit einer Frequenz von 100 Hz. Demgegenüber variieren die der Generatorfunktion oder anderen der o.g. Funktionen zugehörigen
35 Drehmomente im allgemeinen langsam oder sie sind konstant.

Sie werden daher im folgenden auch "Gleich-Drehmomente" genannt.

5 Falls die Amplitude des Wechseldrehmoments größer als das konstante oder langsam variierende Drehmoment ist, zeigt das Gesamt-Drehmoment der elektrischen Maschine - wenn auch gegenüber der Nulllinie verschoben - abwechselnd positive und negative Werte. Andernfalls ist das Gesamt-Drehmoment nur positiv oder negativ, wobei dessen Betrag einen schnell
10 variierenden Anteil enthält.

Die bei diesen Zusatzfunktionen gewonnene Energie (also z.B. bei Fahrzeugbremsung, Anfahren mit "schleifender" Kupplung, Abbremsung von Getrieberädern, Bremsung bei posi-
15 tiver Drehungleichförmigkeit) wird vorteilhaft in dem oben genannten (oder einem anderen) Energiespeicher zwischengespeichert und zur Erzeugung von antreibenden Momenten (z.B. zur Fahrzeugbeschleunigung, Beschleunigung von Ge-
20 trieberädern, Antreiben bei einer negativen Drehungleichförmigkeit) wiederverwendet und/oder in ein Fahrzeugbordnetz und/oder eine Batterie eingespeist. Bei sehr großen anfallenden Energiemengen (wie sie z.B. beim Anfahren mit "schleifender" elektromagnetischer Kupplung anfallen können) kann der Energiespeicher vorteilhaft als
25 Schwungradspeicher ausgebildet sein, dessen Schwungrad seinerseits durch eine elektrische Maschine angetrieben und gebremst wird. Alternativ können diese großen Energiemengen verheizt werden, z.B. durch eine elektrische Heizwicklung, die parasitär im Kühlkreislauf des Verbrennungsmotors angeordnet ist (ähnlich einem Tauchsieder).
30

Um bei einer Fahrzeugbremsung mit Hilfe der elektrischen Maschine einen möglichst hohen Wirkungsgrad der Bremsenergie-Rückgewinnung zu erzielen, entkuppelt man vorteilhaft
35 beim Bremsen die elektrische Maschine vom Verbrennungsmotor, z.B. mit einer dazwischengeschalteten Kupplung, etwa einer Reibkupplung oder Klauenkupplung.

Zur optimalen Ausnutzung des z.B. in einem Kraftfahrzeug zur Verfügung stehenden Bauraumes ist es vorteilhaft, daß in die elektrische Maschine, und zwar insbesondere in deren Läufer, eine Kupplung, vorzugsweise eine als Fahrkupplung dienende Reibkupplung integriert ist. Beispielsweise bei einer Asynchron- und Synchronmaschine mit innenliegendem Läufer kann der Läufer in seinem inneren Bereich funktionslos sein und so zur Aufnahme der Kupplung hohl ausgebildet sein. Durch diese Maßnahme ist es möglich, daß die elektrische Maschine samt im Inneren des Läufers integrierter Kupplung in Axialrichtung nur so viel wie oder kaum mehr Raum in Anspruch nimmt, als bei einem herkömmlichen Kraftfahrzeug die Kupplung alleine. Aufgrund des reduzierten verfügbaren Durchmessers und zur Minimierung des Massenträgheitsmomentes ist auch eine Ausführung als Mehrscheiben- und/oder Lamellenkupplung möglich. Ist die integrierte Kupplung als Naßkupplung ausgebildet, kann das Kupplungsfluid auch für die Kühlung der elektrischen Maschine sorgen. Die Betätigung der Kupplung kann mechanisch, elektrisch, magnetisch, elektromagnetisch, hydraulisch, pneumatisch oder mit Mischformen hiervon erfolgen.

Gegenstände der Patentansprüche, Beschreibung und Zeichnung können auch bei einem Starter/Generator vorteilhaft sein, bei dem das letzte Merkmal des Anspruchs 1 ("Starten im Zusammenlauf aus dem Stand") nicht vorhanden ist. Es wird daher der Vorbehalt erklärt, Patentansprüche auf diese Gegenstände unter Weglassung des jetzt in Anspruch 1 enthaltenen Merkmals "Starten im Zusammenlauf aus dem Stand" zu richten.

Im übrigen werden in der gesamten vorliegenden Beschreibung Zahlenangaben "x" im Sinn von "wenigstens x", und nur vorzugsweise im Sinn von "genau x" verstanden.

Die Erfindung wird nun anhand von Ausführungsbeispielen und der angefügten schematischen Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung zeigen:

- 5 Fig. 1 eine unmaßstäblich-schematische Darstellung eines Antriebssystems mit einer Ausführungsform des Starter/Generators;
- 10 Fig. 2 eine schematische beispielhafte Darstellung der Funktionsweise des Starter/Generators mit Zusatzfunktion "aktive Schwingungsdämpfung";
- 15 Fig. 3 eine schematische Schnittdarstellung einer elektrischen Maschine mit Schnittebene senkrecht zur Axialrichtung;
- 20 Fig. 4 eine schematische Schnittdarstellung einer elektrischen Maschine mit integrierter Reibkupplung mit Schnittebene in Axialrichtung;
- 25 Fig. 5 einen schematischen Schaltplan eines bei dem Starter/Generator verwendeten Wechselrichters;
- 30 Fig. 6 eine schematische Darstellung einer elektrischen Maschine mit drehbaren elektromagnetischen Wirkeinheiten.

In den Figuren tragen im wesentlichen funktionsgleiche Teile gleiche Bezugszeichen.

30

Das in Fig. 1 dargestellte Antriebssystem eines Kraftfahrzeugs, z.B. eines Personenkraftwagens, weist als Antriebsaggregat einen Verbrennungsmotor 1 auf, bei dem es sich beispielsweise um einen Vierzylinder-Viertakt-Otto- oder 35 Dieselmotor handelt. Das vom Verbrennungsmotor 1 erzeugte Drehmoment kann über einen Antriebsstrang 2 auf Antriebsräder 3 übertragen werden. In Abtriebsrichtung ist im An-

triebsstrang 2 nach dem Verbrennungsmotor 1 zunächst eine als Starter/Generator dienende elektrische Maschine 4 angeordnet. Auf diese folgen eine Fahrkupplung 5, ein Getriebe 6 und ein Achsantrieb 7, welcher das Drehmoment auf die Antriebsräder 3 überträgt. Bei der Kupplung 5 und dem Getriebe 6 kann es sich um eine Reibkupplung und ein Schaltgetriebe handeln; alternativ sind z.B. eine automatische Kupplung oder Wandlerkupplung, jeweils mit z.B. handbetätigtem Schaltgetriebe oder automatischem Getriebe möglich. Bei anderen (nicht gezeigten) Ausführungsformen ist im Antriebsstrang 2 zwischen Verbrennungsmotor 1 und elektrischer Maschine 4 eine weitere (gesteuert betätigte) Kupplung angeordnet, um beim Bremsen mit der elektrischen Maschine 4 einen Mitlauf des Verbrennungsmotors 1 zu vermeiden.

Die elektrische Maschine 4 - hier eine Drehstrom-Wanderfeld-Maschine in Asynchron- oder Synchron-Bauart - umfaßt einen Ständer 8 und einen Läufer 9. Ersterer stützt sich drehfest gegen den Verbrennungsmotor 1, ein (nicht gezeigtes) Fahrzeugchassis oder ein (nicht gezeigtes) Kupplungsgehäuse ab, wohingegen letzterer direkt auf einer Triebwelle (Kurbelwelle) 10 des Verbrennungsmotors 1 oder einer Verlängerung hiervon sitzt und mit dieser drehfest gekoppelt ist. Die Triebwelle 10 und der Läufer 9 rotieren also gemeinsam, ohne Zwischenschaltung eines Getriebes.

Die elektrische Maschine 4 erfüllt mehrere Funktionen: Sie fungiert einerseits als Generator zur Ladung einer Fahrzeugbatterie 11 und zur Versorgung elektrischer Verbraucher und ersetzt damit eine herkömmlicherweise im Kraftfahrzeug vorhandene Lichtmaschine. Sie fungiert andererseits als Starter, der den Verbrennungsmotor 1 im Zusammenlauf aus dem Stand startet und kann somit auch einen herkömmlicherweise beim Kraftfahrzeug gesondert vorgesehenen Starter ersetzen. Die elektrische Maschine 4 hat weitere fakultative Funktionen: Eine Generatorfunktion mit wesentlich größerer

rem Drehmoment dient zum Abbremsen des Fahrzeugs oder des Verbrennungsmotors 1. Außerdem kann die elektrische Maschine 4 als Zusatzantrieb ("Booster") fungieren, z.B. um den Verbrennungsmotor beim Beschleunigen des Fahrzeugs zu unterstützen. Auch kann sie als aktiver Drehungleichförmigkeits-Verringerer dienen (Fig. 2). Schließlich fungiert sie aufgrund des Massenträgheitsmoments des Läufers 9 als Schwungrad und kann so das bei herkömmlichen Kraftfahrzeugen i.a. vorhandene, auf der Kurbelwelle sitzendes Schwungrad ersetzen.

Die elektrische Maschine 4 wird durch eine Sprühflüssigkeitskühlung 12 innengekühlt. Nach Durchlaufen eines Rückkühlers 13 und einer Pumpe 14 wird die Kühlflüssigkeit - hier ein geeignetes Öl - an den Läufer 9, und zwar in der Nähe von dessen Rotationsachse, gesprüht. Sie wandert aufgrund der Läuferrotation fliehkraftbedingt nach außen und kühlt dabei Läufer 9 und Ständer 8, und verläßt dann ein Gehäuse 15 der elektrischen Maschine 4, um in einem geschlossenen Kreislauf wieder in den Kühler 13 einzutreten. Der Kühlmittelfluß erfolgt verlustleistungs- und drehzahlabhängig durch entsprechende Steuerung der Pumpe 14, derart, daß sich jeweils im wesentlichen nur eine gerade benötigte Mindestmenge des Kühlfluids im Inneren des Gehäuses 15 befindet. Ein (nicht gezeigtes) Ausgleichsgefäß erlaubt diese Variation der Kühlfluidmenge im Gehäuse 15. Bei anderen (nicht gezeigten) Ausführungsformen ist der Kühler als parasitärer Kühler, der z.B. in den Kühlkreislauf des Verbrennungsmotors eingesetzt ist. Bei weiteren (nicht gezeigten) Ausführungsformen verfügt die elektrische Maschine nicht über ein eigenes abgeschlossenes Kühlsystem. Sie (oder nur der Läufer) ist z.B. in ein Kupplungs- und/oder Getriebegehäuse integriert und wird durch ein darin befindliches Schmier- und/oder Kühlfluid (z.B. Kupplungs- oder Getriebeöl) mit gekühlt.

Bei einfacheren (nicht gezeigten) Ausführungsformen, bei denen die elektrische Maschine 4 keine Zusatzfunktionen mit hoher Dauerleistung ausführen muß, kann die Kühlung einfacher ausgeführt sein: Hier genügt beispielsweise eine
5 Innenkühlung mit Gas oder nur eine Außenkühlung des Ständers mit Flüssigkeit oder Gas.

Die elektrische Maschine 4 ist außerdem mit einem Drehtransformator 16 (sog. Resolver) ausgerüstet, der vorzugsweise mehr als 8 Pole, hier z.B. 12 Pole aufweist. Er besteht aus zwei benachbart angeordneten Leiterplatten, von denen eine feststeht und die andere sich mit der Triebwelle
10 dreht. Die Leiterplatten tragen auf ihren zugewandten Oberflächen durch Leiterbahnen gebildete Windungen, derart
15 daß sich ein drehwinkelabhängiges Transformator-Übersetzungsverhältnis ergibt. Der Drehtransformator 16 arbeitet nach dem Transponder-Prinzip: Die feststehenden Windungen (feststehende Platine) werden aktiv mit Strom/Spannung beaufschlagt und strahlen elektromagnetische Energie zu den
20 drehbaren Windungen (drehbare Platine) hin ab. Letztere strahlen einen Teil dieser Energie wieder zurück, wobei dieser Teil aufgrund des drehwinkelabhängigen Übertragungsverhältnisses vom Drehwinkel abhängt. Der rückgestrahlte Teil erzeugt in den feststehenden Windungen ein
25 drehwinkelabhängiges Signal. Eine Auswertung dieses Signals liefert den momentanen Drehwinkel der Triebwelle 10 mit einer Genauigkeit von wenigstens 0,5 Grad. Bei einfacheren Ausführungsformen wird ein Inkrementalgeber verwendet oder
völlig auf einen entsprechenden Geber verzichtet.

30 Ein Wechselrichter 17 liefert den Wicklungen des Ständers 8 der elektrischen Maschine 4 bei einer sehr hohen Taktfrequenz (z.B. 10-100 kHz) sinusbewertete pulsweitenmodulierte Spannungsimpulse, die unter der Wirkung der Maschineninduktivität im wesentlichen sinusförmige Dreiphasen-
35 Ströme ergeben, deren Amplitude, Frequenz und Phase frei vorwählbar ist.

Der Wechselrichter 17 ist ein Spannungszwischenkreis-Wechselrichter und umfaßt drei Baugruppen: einen Gleichspannungsumsetzer 18 (Eingangsbaugruppe), welcher Gleichspannung von einem niedrigen Niveau (hier 12 V) auf ein höheres Zwischenkreisniveau (hier 350 V) und in umgekehrter Richtung umsetzt, einen elektrischen Zwischenkreisspeicher 19, hier ein Kondensator bzw. eine Anordnung parallel geschalteter Kondensatoren, und einen Maschinenwechselrichter 20 (Ausgangsbaugruppe), welcher aus der Zwischenkreis-Gleichspannung die (getaktete) Dreiphasen-Wechselspannung variabler Amplitude, Frequenz und Phase erzeugen kann oder - bei generatorischem Betrieb der elektrischen Maschine 4 - derartige beliebige Wechselspannungen in die Zwischenkreis-Gleichspannung umsetzen kann. Bei anderen (nicht gezeigten) Ausführungsformen liegt das Zwischenkreisniveau am oberen Rand des ohne besonderen Berührungsschutz zulässigen Niederspannungsbereichs, hier 60 V.

Die drei Baugruppen 18, 19, 20 des Wechselrichters 17 sind in einem abschirmenden Gehäuse 21 hermetisch eingeschlossen, welches mit einem geeigneten Siedekühlmittel gefüllt ist. Bei diesem handelt es sich z.B. um einen Fluorkohlenwasserstoff, der bei einem geeigneten Druck (etwa zwischen 50 mbar und 3 bar) einen geeigneten Siedepunkt, z.B. bei 60° C, hat. Verdampftes Siedekühlmittel kann in einem Kondensationskühler 22 kondensieren und in flüssiger Form in einem hermetisch geschlossenen Kreislauf in das Gehäuse 21 zurückkehren.

Der Gleichspannungsumsetzer 18 ist niederspannungsseitig mit der Fahrzeugbatterie 11 und verschiedenen Niederspannungsverbrauchern 23, wie beispielsweise Beleuchtung und elektronische Geräte, verbunden. Der Wechselrichter 17 kann einerseits Strom auf niedrigem Spannungsniveau zum Laden der Fahrzeugbatterie 11 und Versorgen der Niederspannungsverbraucher 23 liefern, andererseits kann er der Fahrzeugbatterie 11 Strom auf niedrigem Spannungsniveau zum Starten

des Verbrennungsmotors 1 entnehmen. Bei anderen (nicht gezeigten) Ausführungsformen befindet sich die Fahrzeugbatterie auf Zwischenkreisniveau und ist direkt mit dem Zwischenkreis gekoppelt.

5

Der Zwischenkreisspeicher 19 ist verbunden mit einem externen Zusatzspeicher 24, bei dem es sich um einen elektrischen Speicher, hier eine Zusatzkapazität 25 handelt. Der Zusatzspeicher 24 entlastet die Fahrzeugbatterie 11 beim Startvorgang des Verbrennungsmotors 1, indem dieser vor dem Starten Energie nur relativ langsam entnommen und im Zusatzspeicher 24 gespeichert wird. Hier steht sie dann für eine schnelle Entnahme beim Startvorgang zur Verfügung. Daneben kann er auch der Speicherung derjenigen Energie dienen, die bei durch die elektrische Maschine 4 vermittelten Bremsvorgängen anfällt. Schließlich hat er die Aufgabe, die beim Drehungleichförmigkeits-Verrringern in einer Bremsphase gewonnene Energie zwischenzuspeichern und für die anschließende Antriebsphase wieder abzugeben. Für große zu speichernde Energien kann der Zusatzspeicher 24 ergänzend oder alternativ einen Schwungradspeicher 26 umfassen.

Hingegen hat der (innere) Zwischenkreisspeicher 19 im wesentlichen die Aufgabe, der Maschinen-Wechselrichtergruppe 20 Spannung mit der für das Takten notwendigen hohen Flankensteilheit - also schnell - zu liefern. Er braucht dazu keine sehr hohe Kapazität (er hat z.B. 2 μF), vorteilhaft für die Schnelligkeit sind vielmehr geringe Zuleitungsinduktivitäten, was durch die Anordnung im Inneren des Wechselrichters 17 sichergestellt ist (und zwar vorzugsweise auf derselben Platine, auf der auch die elektronischen Schalter des Maschinen-Wechselrichters 20 angeordnet sind). Der Zusatzspeicher 24 kann hingegen relativ langsam arbeiten, so daß hier die Zuleitungskapazitäten aufgrund der externen Anordnung nicht stören. Die Zusatzkapazität 25 kann insbesondere 50 bis 10000 mal größer sein (sie ist

35

hier z.B. 4,7 mF für die Speicherung der Drehungleichförmigkeits-Energie) als die des Zwischenkreisspeichers 19.

5 Noch größere Speicherkapazitäten sind mit dem Schwungradspeicher 26 erreichbar, der hier eine eigene wechselrichtergesteuerte elektrische Maschine 27 und eine damit gekoppelte Schwungmasse 28 umfaßt. Letztere kann durch ein gesondertes Schwungrad gebildet oder in den Läufer der elektrischen Maschine 27 integriert sein. Das Massenträgheitsmoment der Schwungmasse 28 beträgt vorzugsweise 0,05 bis 10 2 kgm². Es ist auch möglich, in dem Schwungradspeicher 26 ein Mehrfaches der zum Starten des Verbrennungsmotors 1 benötigten Energie zu speichern und ihm zum Starten schnell (d.h. in weniger als einer Sekunde) die jeweils nötige 15 Startenergie zu entnehmen.

Bei anderen (nicht gezeigten) Ausführungsformen ist kein gesonderter Zusatzspeicher 24 vorgesehen. Hier ist der Zwischenkreisspeicher 19 so dimensioniert und ggf. außerhalb des Wechselrichters 17 angeordnet, daß er die Funktionen des Zusatzspeichers 24 mit übernehmen kann. 20

Der Zwischenkreis mit seinem hohen Spannungsniveau (hier 60 V oder 350 V) versorgt verschiedene Hilfsantriebe 29, wie 25 eine Klimamaschine und Servoantriebe, sowie verschiedene Heizeinrichtungen 30, wie Motor- und Katalysatorheizungen mit elektrischer Energie. Während derartige Hochleistungsverbraucher herkömmlicherweise durch mechanische Kopplung vom Verbrennungsmotor 1 angetrieben bzw. durch Abwärme des 30 Verbrennungsmotors 1 beheizt werden, erlaubt das hier zur Verfügung stehende hohe Spannungsniveau einen wirkungsgradmäßig günstigeren, rein elektrischen Antrieb.

35 Eine Steuereinrichtung 31 gibt dem Wechselrichter 17 durch entsprechende Ansteuerung seiner Halbleiterschalter zu jedem Zeitpunkt vor, welche Amplitude, Frequenz und Phase die von ihm zu erzeugende Wechselspannung haben soll. Die

Steuereinrichtung 31, die beispielsweise durch ein entsprechend programmiertes Mikrocomputer-System gebildet sein kann, bestimmt in einem ersten Schritt den Betrag und die Richtung des Drehmoments, welches die elektrische Maschine 4 zu einem bestimmten Zeitpunkt erzeugen soll. Sie kann dies z.B. mit Hilfe einer Kennfeldsteuerung tun, indem sie als Eingangsinformation vom Drehtransformator 16 die Winkelstellung der Triebwelle 10, die momentane mittlere Drehzahl und ggf. weitere Betriebsparameter, wie z.B. die Drosselklappenstellung, erhält. Zum Starten des Verbrennungsmotors 1 kann das Soll-Drehmoment auf der Grundlage gespeicherter Werte bestimmt werden, die den zeitlichen Soll-Verlauf der Drehzahl oder des Drehmoments der elektrischen Maschine 4 während des Startvorgangs vorgeben, ggf. ergänzt durch eine Messung dieser Größen und eine rückgekoppelte Regelung, welche die Einhaltung der Vorgaben sicherstellt. Ein (nicht gezeigtes) Energieverbrauchs-Steuergerät gibt an, wieviel Energie zum Laden der Fahrzeugbatterie 11, zur Versorgung der Niederspannungsverbraucher 23 und der Hochleistungsverbraucher 29, 30 benötigt wird, so daß die Steuereinrichtung 31 ein entsprechendes bremsendes Drehmoment veranlassen kann. Ein Motorsteuergerät 33 gibt der Steuereinrichtung 31 vor, ob und in welchem Maß die elektrische Maschine 4 zusätzlich fahrzeugbeschleunigend oder -bremsend wirken soll, so daß diese ein entsprechendes Drehmoment, etwa zur Glättung der Momentenkennlinie des Verbrennungsmotors 1 (z.B. zum Ausfüllen eines "Turbo-Lochs" bei niedrigen Drehzahlen), erzeugen kann. Entsprechend gibt ein ASR-Steuergerät 34 (ASR=Antriebs-Schlupf-Regelung) der Steuereinrichtung 31 bei Vorliegen von Antriebsschlupf vor, daß die elektrische Maschine 4 vorübergehend als generatorische Bremse wirken soll, ggf. bevor das ASR-Steuergerät bei verbleibendem Antriebsschlupf als massivere Maßnahme ein Einbremsen der betroffenen Antriebsräder durch die Radbremse veranlaßt. Zusätzlich kann das ASR-Steuergerät seine Schlupfinformation an das Motorsteuergerät 33 übergeben, um außerdem eine Verringerung des Verbrennungsmotor-

Drehmoments zu veranlassen. Das Motorsteuergerät 33 kann auch eine automatische Start-Stop-Steuerung durchführen und der Steuereinrichtung 31 vorgeben, ob die elektrische Maschine 4 den Verbrennungsmotor 1 starten soll.

5

Die aktive Verringerung von Drehungleichförmigkeiten kann so gesteuert werden, daß aus einem gespeicherten Kennfeld die momentan zu erwartende Drehungleichförmigkeit in Abhängigkeit von den o.g. Betriebsparametern ermittelt wird. Eine andere Möglichkeit besteht darin, die tatsächlich momentan vorliegende Drehungleichförmigkeit zu ermitteln, z.B. durch Berechnung der momentanen Drehgeschwindigkeit auf der Grundlage der vom Drehtransformator 16 gelieferten Information und/oder durch Auswertung der momentan im Verbrennungsmotor 1 vorliegenden Gasdrücke, welche mit Hilfe von Gasdrucksensoren 32 detektierbar sind, oder durch Erfassung der momentanen Drehmoments des Verbrennungsmotors 1 mit Hilfe einer (nicht gezeigten) Drehmomentnabe im Antriebsstrang. Möglich ist auch eine Kombination von Regelung und Steuerung. Aus dem so ermittelten Wert für die momentane Drehungleichförmigkeit wird ein entsprechender (gegenphasiger) Wert für das schnell variierende Soll-Drehmoment der elektrischen Maschine 4 abgeleitet, das dem bremsenden (oder ggf. antreibenden) Gleich-Drehmoment additiv überlagert wird.

In einem zweiten Schritt bestimmt die Steuereinrichtung 31, welche Amplitude, Frequenz und Phase der Spannung bzw. des Stroms vom Wechselrichter 17 bereitgestellt werden muß, damit die elektrische Maschine 4 dieses Soll-Gesamtdrehmoment herbeiführt. Diese Bestimmung erfolgt bei der elektrischen Asynchronmaschine auf der Grundlage einer feldorientierten Regelung, welche auf einer Modellrechnung der elektrischen Maschine 4 beruht und als Eingangsinformation im wesentlichen die meßbaren elektrischen Ständergrößen (Amplitude, Frequenz und Phase von Strom und Spannung) und

30

35

die momentane mittlere Läuferdrehzahl verwendet oder sich aus elektrischen Größen ableitet.

5 In Fig. 1 ist die Steuereinrichtung 31 als außerhalb des Wechselrichtergehäuses 21 angeordnet dargestellt. Um an der Siedebadkühlung zu partizipieren, ist sie jedoch bei anderen (nicht gezeigten) Ausführungsformen im Inneren des Wechselrichtergehäuses 21 angeordnet.

10 Die Steuereinrichtung 31 kann verschiedene, zur Erfüllung ihrer Steueraufgaben dienende Sensoren bzw. davon abgeleitete Sensorinformationen mit dem Motorsteuergerät 33 zur Steuerung des Verbrennungsmotors 1 teilen. Es kann sich z.B. um den Drehtransformator 16 (Winkellagegeber), die
15 Gasdrucksensoren 32, daneben (nicht gezeigte) Sensoren zur Erfassung der mittleren Drehzahl, des Lastzustandes des Verbrennungsmotors 1 (z.B. über die Drosselklappenstellung) und dessen Drehmoments (z.B. mit Hilfe einer Drehmomentnabe) handeln.

20 Die bei den Zusatzfunktionen durch Bremsen gewonnene Energie wird im Zusatzspeicher 24 zwischengespeichert, um zum späteren Antreiben der elektrischen Maschine 4 wiederverwendet oder der Fahrzeugbatterie 11 zugeleitet zu werden.

25 Die Fig. 2a - 2c veranschaulichen den Generatorbetrieb zusammen mit der Zusatzfunktion "aktive Schwingungsdämpfung". Fig. 2a zeigt (mit durchgezogener Linie) die Drehzahl n der Kurbelwelle 10 als Funktion des Kurbelwellenwinkels φ . Die Welle führt um eine mittlere Drehzahl (hier
30 3000 Umdrehungen pro Minute) periodisch Drehzahlschwankungen zu kleineren und größeren Drehzahlen hin aus, welche in diesem idealisierten Beispiel insgesamt einen im wesentlichen sinusförmigen Verlauf haben. Es handelt sich um von
35 den Gas- und Massenkräften herrührende Drehungleichförmigkeiten, die hier in der zweiten Ordnung (d.h. bei einer Frequenz von 100 Hz) auftreten. Zur Veranschaulichung ist

auch das für eine Umdrehung der Welle benötigte Winkelintervall eingezeichnet. Im wesentlichen proportional zu den Drehungleichförmigkeiten sind Schwankungen des Drehmoments M_v des Verbrennungsmotors um ein mittleres Drehmoment. Die durchgezogene Linie in Fig. 2a veranschaulicht damit auch den Verlauf des Motor-Drehmoments M_v als Funktion des Kurbelwellenwinkels φ .

Fig. 2b zeigt das von der elektrischen Maschine 4 als Funktion des Wellenwinkels φ aufgebrachte Drehmoment M_e , wobei zwecks besserer Anschaulichkeit der zur Generatorfunktion gehörige bremsende Drehmomentanteil noch nicht dargestellt ist. Der Verlauf des Maschinendrehmoments M_e ist im wesentlichen gegenphasig betragsgleich zur Ungleichförmigkeit des Motor-Drehmoments M_v . Im Ergebnis wird die Drehungleichförmigkeit - und die zu ihr proportionale Schwankung des Drehmoments M_v - wesentlich verringert, oder sie verschwindet sogar praktisch, wie in Fig. 2a durch die gestrichelte Linie veranschaulicht ist.

In Fig. 2b sind die negativen und positiven Drehmomentextrema betragsmäßig gleich groß. Die bei einer Bremsphase gewonnene Energie ist also im wesentlichen gleich groß wie die bei der folgenden Antriebsphase aufzuwendende Energie. Der Energiefluß nach außen ist somit Null, es wird nur im Inneren des System zeitweise Bremsenergie zwischengespeichert. Das System arbeitet also gemäß Darstellung der Fig. 2b als reiner Drehungleichförmigkeits-Verringerer mit schnell variierendem Drehmoment, ohne Generatorfunktion.

Fig. 2c zeigt die Überlagerung beider Funktionen: Die Generatorfunktion verschiebt das Drehmoment gemäß Fig. 2b global um einen bestimmten Betrag ΔM_e (den sog. Hub) in negative Richtung. Der Hub ΔM_e variiert i. a. langsam, in dem hier dargestellten kurzen Zeitraum von ungefähr einer Umdrehungsperiode ist er in guter Näherung konstant. Er ist für die üblicherweise benötigten Generatorleistungen klei-

ner als die Amplitude der schnellen Variation des Drehmoments, so daß das Gesamt-Drehmoment M_e alternierend positive und negative Werte annimmt. Gemittelt über die schnelle Drehmomentvariation erhält man ein konstantes Drehmoment - ΔM_e . Dem Verbrennungsmotor wird also im Mittel mechanische Energie entzogen, die in elektrische Energie umgewandelt und dem System zum Laden der Fahrzeugbatterie 11 und/oder zum Betreiben elektrischer Verbraucher 23, 29, 30 entnommen wird. Bei reiner Generatorfunktion ohne Schwingungsdämpfung erzeugt die elektrische Maschine 4 ein konstantes Drehmomententsprechend der strichpunktierten Linie ΔM_e in Fig. 2c.

Falls z.B. bei Fahrzeugbremsung der Hub ΔM_e größer als die Amplitude zur Verringerung der Drehungleichförmigkeit wird, wirkt die elektrische Maschine 4 nur noch bremsend und nicht mehr antreibend. Der globale Drehmomentverlauf kann auch in positiver Richtung verschoben sein (positiver Hub). Die elektrische Maschine arbeitet dann als (antreibender) Motor, z.B. um den Verbrennungsmotor bei einer Fahrzeugbeschleunigung zu unterstützen.

Allein durch eine entsprechende Einstellung der (Software-)Steuerung der elektrischen Maschine - ohne jegliche konstruktive (Hardware-)Änderungen - sind kleine und sehr große Generatorleistungen einstellbar. Begrenzend wirkt nur die Größe der elektrischen Maschine und der Leistungselektronik. Damit kann ein und der selbe Maschinentyp beispielsweise für kleine und große Kraftfahrzeugtypen ohne konstruktive Anpassung verwendet werden.

Die in Fig. 3 näher dargestellte elektrische Maschine 4 ist bürsten- bzw. schleiferlos und damit verschleißfrei. Sie hat einen Außendurchmesser von ungefähr 300 mm und eine Länge in Axialrichtung von 70 mm und erbringt bei einem Gewicht von 10-15 kg ein Dauerdrehmoment von ca. 50 Nm und ein Spitzendrehmoment von ca. 150 Nm. Sie kann Drehzahlen

erreichen, die den Spitzendrehzahlen üblicher Verbrennungsmotoren (ca. 6000 bis 10000 U/min) entspricht und ist drehzahlfest bis 14000 U/min. Die elektrische Maschine 4 hat einen außenliegenden Ständer 8, welcher Nuten 35 in Richtung der Triebwelle 10 (Axialrichtung) aufweist. Der Ständer 8 trägt eine Drei-Phasen-Wicklung 36, die so ausgebildet ist, daß sie bei Beaufschlagung mit Drei-Phasen-Strom zwölf magnetische Pole ausbildet. Pro Pol sind drei Nuten 35, insgesamt also sechsunddreißig Nuten 35 vorhanden. (Bei anderen (nicht gezeigten) Ausführungsformen sind zwecks Verringerung von Streueffekten pro Pol wenigstens sechs, bevorzugt neun Nuten vorhanden.) Die Pole laufen mit der Drehstrom-Oszillation in einer Kreisbewegung im Ständer 8 um. Für einen bestimmten Zeitpunkt ist ihre momentane Lage durch Pfeile, welche die Bezugszeichen "S" (für Südpol) und "N" (für Nordpol) tragen, veranschaulicht. Ein die Nuten 35 nach außen abschließender, in Umfangsrichtung durchgehender Rückenteil 37 ist in Radialrichtung relativ dünn, seine Dicke beträgt (an der Stelle einer Nut 35) beispielsweise 3-25 mm. Der Ständer 8 ist aus dünnen Statorblechen (die Dicke beträgt hier 0,25 mm) aus einem Material mit niedrigen Ummagnetisierungsverlusten (hier kleiner als 1 W/kg bei 50 Hz und einem Tesla) aufgebaut, mit senkrecht zur Axialrichtung verlaufenden Blechebenen.

Der innenliegende Läufer 9 ist bei der Asynchron-Maschine als Käfigläufer mit im wesentlichen in Axialrichtung verlaufenden Käfigstäben, die jeweils stirnseitig mit einem Kurzschlußring 38 verbunden sind, ausgebildet. Beim der Synchronmaschine trägt der Läufer 9 die gleiche Anzahl von Polen wie der Ständer 8 (hier zwölf Pole), die durch Permanentmagnete oder entsprechend erregte Spulen gebildet sein können. In Fig. 3 ist die Synchronmaschine ebenfalls veranschaulicht, indem die bei ihr vorhandenen Läuferpole (Bezugsziffer 39) schematisch angedeutet sind. Strom zur Speisung der (nicht gezeigten) Läuferwicklung, welche diese

Pole hervorbringt, wird dem Läufer über Schleifringe zugeführt.

5 Der Luftspalt 40 zwischen Läufer 9 und Ständer 8 ist relativ groß; seine Weite beträgt hier 1 mm.

Bei anderen (nicht gezeigten) Ausführungsformen ist der Läufer außenliegend und der Ständer innenliegend.

10 Bei der Ausführungsform gemäß Fig. 4 ist in der elektrischen Maschine 4 die Kupplung 5 praktisch vollständig integriert. Innerhalb des z.B. am Motor- oder Getriebegehäuse drehfest gelagerten Ständers 8 ist der Läufer 9 an seiner Peripherie einseitig über einen axial seitlich ausragenden
15 Käfig 54 mit der Triebwelle 10 des Verbrennungsmotors 1 drehfest verbunden. Der Läufer 9 ist innen hohl und hat im wesentlichen die Form eines flachen Kreiszylinder-Mantels. In dem Hohlraum ist die Kupplung 5 - hier eine als Fahrkupplung fungierende Lamellenkupplung (Vielflächen-Reib-
20 scheibenkupplung) - angeordnet. Sie kann einen Kraftschluß zwischen der Triebwelle 10 mit dem Läufer 9 und einer in den Hohlraum ragenden Abtriebswelle 55 zum Getriebe 6 herstellen. Hierzu ist der Läufer 9 innenverzahnt und die Abtriebswelle 55 im Bereich des Hohlraums 55 außenverzahnt.
25 In dem Raum dazwischen ist ein Scheibenpaket 56 angeordnet, dessen Scheiben 57 abwechselnd außen- und innenverzahnt sind, so daß abwechselnd jeweils eine Scheibe mit dem Läufer 9 (Außenlamelle 57a) und die nächste Scheibe mit der Abtriebswelle 55 (Innenlamelle 57b) formschlüssig verbunden
30 ist. Ohne axialen Druck können die Außen- und Innenlamellen 57a, 57b praktisch frei gegeneinander rotieren, die Wellen 10, 55 sind dann entkuppelt. Preßt man die Außen- und Innenlamellen 57a, 57b mit Hilfe einer (nicht dargestellten) Druckvorrichtung (z.B. eines Winkelhebels) in Axialrichtung
35 zusammen, stellen die entstehenden Reibkräfte den Kraftschluß zwischen den Wellen 10, 55 her, so daß sich das vom Verbrennungsmotor 1 und der elektrischen Maschine 4

erzeugte Drehmoment auf die Abtriebswelle 55 überträgt. Der Kraftschlußteil (d.h. hier das Scheibenpaket 56) der Kupplung 5 findet vollständig im Läufer 9 Platz, ragt also nicht etwa in Axialrichtung seitlich aus ihm heraus. Die Kupplung 5 ist als Naßkupplung ausgeführt. Das Kupplungsöl dient gleichzeitig der Kühlung der elektrischen Maschine 4. Bei anderen (nicht gezeigten) Ausführungsformen sind andere schaltbare kraftschlüssige Kupplungen integriert, z.B. eine Einscheiben-Kupplung in Trocken- oder Naßbauweise.

Fig. 5 zeigt einen schematischen Schaltplan des Wechselrichters 17. Man erkennt den Zwischenkreisspeicher 19 in Form einer Kapazität, welcher der (hier nicht näher dargestellte) Zusatzspeicher 24 parallelgeschaltet ist. Die Kapazität symbolisiert eine Parallelschaltung mehrerer Kondensatoren.

Der Maschinenwechselrichter 20 wird durch drei parallelgeschaltete (aber unabhängig schaltbare) Schaltergruppen 42 gebildet, wobei jede der Schaltergruppen 42 für die Erzeugung jeweils einer der drei Drei-Phasen-Spannungen zuständig ist. Jede der Schaltergruppen 42 ist eine Serienschaltung zweier (unabhängig schaltbarer) Schalter 43 zwischen dem Plus- und dem Minuspol des Zwischenkreises. Die Serienschaltung ist mittig (d.h. zwischen den Schaltern 43) mit einer Seite jeweils einer der drei Wicklungen 36a, 36b, 36c der Drei-Phasenwicklung 36 verbunden; an der anderen Seite sind die drei Wicklungen 36a, 36b, 36c miteinander verbunden.

Parallel zu den Schaltern 43 ist jeweils eine Freilaufdiode 44 geschaltet. Sie ist so gepolt, daß sie normalerweise sperrt und, nur wenn der gegenüberliegende Schalter geöffnet wird, einen aufgrund von Selbstinduktion erzeugten, kurzzeitigen Stromfluß in Gegenrichtung durchläßt.

Jeder Schalter 43 symbolisiert eine Parallelschaltung von mehreren (z.B. fünf) MOS-Feldeffekttransistoren, welche von der Steuereinrichtung 31 zur Bildung eines Drei-Phasen-Stroms gewünschter Amplitude, Frequenz und Phase direkt angesteuert werden.

Der Gleichspannungsumsetzer 18 umfaßt zwei Unter-Baugruppen, nämlich eine, welche elektrische Energie von dem niedrigen Spannungsniveau (12 V) auf das hohe Zwischenkreis-Spannungsniveau (60 V bzw. 350 V) bringen kann, und eine andere, welche - umgekehrt - elektrische Energie von dem hohen Spannungsniveau (60 V bzw. 350 V) auf das niedrige Spannungsniveau (12 V) bringen kann. Bei Ausführungsformen mit im Zwischenkreis angeordneter Fahrzeugbatterie kann die erstgenannte Unter-Baugruppe entfallen.

Bei der ersten Unter-Baugruppe handelt es z.B. sich um einen Hochsetzsteller 45. Dieser wird durch eine Serienschaltung einer mit dem Pluspol der Fahrzeugbatterie 11 verbundenen Induktivität 46 und einen mit deren Minuspol und dem Minuspol des Zwischenkreises verbundenen Schalter 47 gebildet, wobei diese Serienschaltung mittig über eine (in Durchlaßrichtung gepolte) Hochsetzdiode 48 mit dem Pluspol des Zwischenkreises verbunden ist. Bei geschlossenem Schalter 47 fließt ein Kreisstrom vom Plus- zum Minuspol der Fahrzeugbatterie 11. Nach Öffnen des Schalters 47 sucht eine Selbstinduktionsspannung ein Zusammenbrechen dieses Stromes zu verhindern, mit der Folge, daß kurzzeitig das hohe Zwischenkreis-Spannungsniveau (350 V) überschritten wird und Strom durch die (ansonsten sperrende) Hochsetzdiode 48 fließt und den Zwischenkreisspeicher 19 auflädt. Durch periodisches Öffnen und Schließen des Schalters 47 erzielt man einen quasi-stationären Ladestrom, z.B. als Vorbereitung des Startvorgangs. Bei dem Schalter 47 handelt es sich um einen Halbleiterschalter, welcher direkt von der Steuereinrichtung 31 angesteuert wird.

Die zweite Unter-Baugruppe ist z.B. ein Spannungsuntersetz-
zer 49, der ähnlich einem Schaltnetzteil funktioniert. Er
umfaßt zwei Serienschaltungen von Schaltern 50 zwischen dem
Plus- und Minuspol des Zwischenkreises, mit jeweils
5 parallelgeschalteten Freilaufdioden 51. Die Enden einer
Primärwicklung eines Hochfrequenz(HF)-Transformators 52
sind jeweils mit den Mitten dieser Serienschaltungen ver-
bunden. Die Sekundärwicklung des HF-Transformators 52
speist eine Gleichrichtungs- und Glättungseinheit 53, wel-
10 che wiederum die Fahrzeugbatterie 11 und ggf. Niederspan-
nungsverbraucher 23 speist. Die Schalter 50 symbolisieren
Halbleiterschalter, welche direkt von der Steuereinrichtung
31 angesteuert werden. Durch periodisches Öffnen und
Schließen der Schalter läßt sich ein hochfrequenter Wech-
15 selstrom erzeugen, welcher in der Sekundärwicklung des HF-
Transformators 52 eine entsprechende Wechselspannung auf
niedrigerem Spannungsniveau induziert, welche durch die
Einheit 53 gleichgerichtet und geglättet wird. Der genaue
Wert der resultierenden Gleichspannung läßt sich mit Hilfe
20 der Schalter 50 durch Variation der Schaltfrequenz genau
einstellen.

Bei Ausführungsformen mit einer Synchronmaschine benötigt
man im Generatorbetrieb keine aktiv gesteuerten Halblei-
25 terschalter, hier genügen zur Bildung einer Gleichrichter
funktion spannungsgesteuerte Ventile. Mit aktiv gesteuerten
Schaltern erzielt man aber höhere Leistung.

Die elektrische Maschine 4 gemäß Fig. 6, welche zusätzlich
30 die Funktion einer elektromagnetischen Kupplung und/oder
Synchronisiereinrichtung hat, weist ein inneres und ein
äußeres elektromagnetisches Wirkelement auf, die in Anleh-
nung an bei elektrischen Maschinen üblichen Bezeichnungs-
weisen hier Läufer 9 und Ständer 8' genannt werden. Der
35 Läufer 9 ist drehfest mit einer z.B. mit dem Getriebe 6
gekoppelten Abtriebswelle 55 und der Ständer 8' ist dreh-
fest mit der Triebwelle 10 verbunden (bei anderen - nicht

gezeigten - Ausführungsformen ist diese Zuordnung umgekehrt). Die elektrische Maschine 4 ist also zusätzlich zur Läuferdrehung als Ganzes drehbar; der Begriff "Ständer" ist also angesichts dessen Drehbarkeit nur in einem übertragenen Sinn zu verstehen. Während es bei einer feststehenden elektrischen Maschine - z.B. einer Drehfeld-Maschine - möglich ist, die Stromzufuhr auf das feststehende Wirkelement (d.h. den Ständer) zu beschränken und im drehbaren Wirkelement (d.h. im Läufer) Ströme ohne Stromzufuhr nur durch Induktion hervorzurufen, wird hier - wo beide Wirkelemente drehbar sind - wenigstens einem von ihnen (hier dem Ständer 8') Strom über drehbewegliche elektrische Verbindungen (z.B. über hier nicht gezeigte Schleifer/Schleifring-Kontakte) zugeführt. Die Abtriebswelle 55 ist mit einer mechanischen Kupplung, hier einer gegen das Fahrzeugchassis oder das Getriebegehäuse abgestützten Bremse 62 gegen Drehung festlegbar. Die gezeigte Ausführungsform hat keine Überbrückungskupplung, andere (nicht gezeigte) Ausführungsformen sind jedoch mit einer reib- oder kraftschlüssigen Überbrückungskupplung zur mechanischen Verbindung der Wellen 10, 55 ausgerüstet.

Die elektrische Maschine 4 kann den Verbrennungsmotor 1 direkt in Abstützung gegen die durch die Bremse 62 festgelegte Abtriebswelle 55 starten. Die Generatorfunktion wird durch einen dauernd aufrechterhaltenen Kupplungsschlupf erzielt.

In der Zusatzfunktion als Schaltkupplung und ggf. als Anfahrkupplung wird (abgesehen von dem Schlupf für die Generatorfunktion) ein Gleichlauf der Wellen 10, 55 durch eine solche Einstellung der drehmomenterzeugenden magnetischen Felder der Maschine 4 erzielt, daß Drehzahlgleichheit zwischen den Wellen 10, 55 herrscht. Bei einer Asynchronmaschine wird dies beispielsweise durch die Regelung bzw. Steuerung des magnetischen Schlupfes eines entgegen der An-

triebsdrehmoment-Richtung umlaufenden Drehfelds geeigneter Frequenz und Amplitude erzielt.

5 Zusatzbeschleunigung oder -bremsung ist durch Erzeugung
entsprechenden Drehmomente - oder anders ausgedrückt -
kleineren oder größeren Kupplungsschlupfes möglich. Die
elektrische Maschine 4 kann in eine ASR-Regelung derart
einbezogen sein, daß bei zu großem Antriebsrad-Schlupf der
Kupplungsschlupf augenblicklich vergrößert und damit das an
10 den Antriebsrädern anliegende Moment verkleinert wird.

Eine Verringerung von Drehungleichförmigkeiten der Trieb-
welle 10 kann im Stand des Fahrzeugs in Abstützung gegen
den dann mit Hilfe der Bremse 62 gegen Drehung festgelegten
15 Läufer 9 erfolgen. Bei angetriebener Fahrt können Drehun-
gleichförmigkeiten durch schnelles Variieren des übertrage-
nen Drehmoments verringert werden, und zwar durch Verklei-
nerung und Vergrößerung des Kupplungsschlupfes.

5

PATENTANSPRÜCHE

1. Starter/Generator für einen Verbrennungsmotor (1), insbesondere eines Kraftfahrzeugs, mit
 - einer elektrischen Drehfeldmaschine (4), welche die Starter- und Generatorfunktion ausübt; und
 - wenigstens einem Wechselrichter (17) zum Erzeugen der für die magnetischen Felder der elektrischen Maschine (4) benötigten Spannungen und/oder Ströme variabler Frequenz, Amplitude und/oder Phase;
 - wobei die elektrische Maschine (4) den Verbrennungsmotor (1) im Zusammenlauf aus dem Stand startet.
2. Starter/Generator nach Anspruch 1, bei welchem die Relativedrehzahlen von Verbrennungsmotor (1) und elektrischer Maschine (4) im Starter- und im Generatorbetrieb gleich sind.
3. Starter/Generator nach Anspruch 1 oder 2, bei welchem die elektrische Maschine (4) direkt mit einer Triebwelle (10) des Verbrennungsmotors oder eines Triebstrangs gekoppelt oder koppelbar ist.
4. Starter/Generator nach Anspruch 3, bei welchem die elektrische Maschine (4) auf der Triebwelle (10) sitzt und drehfest mit ihr verbunden ist.
5. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die elektrische Maschine (4) eine Asynchronmaschine, eine Synchronmaschine oder eine Reluktanzmaschine ist.

- 5 6. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine drehfelderzeugende Wirkeinheit (Ständer 8) der elektrischen Maschine (4) wenigstens acht Pole (39) aufweist.
- 10 7. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die elektrische Maschine (4) eine hohe maximale Polwechselfrequenz, insbesondere zwischen 300 und 1600 Hz und mehr, hat.
- 15 8. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem der Ständer (8) der elektrischen Maschine (4) dünne Ständerbleche, insbesondere mit einer Dicke von 0,35 mm oder weniger, aufweist und/oder die Ständerbleche aus einem Material mit niedrigen Ummagnetisierungsverlusten, insbesondere kleiner als 1 Watt/Kilogramm bei 50 Hz und einem Tesla, gefertigt sind.
- 20 9. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die elektrische Maschine (4) eine innere Fluidkühlung, insbesondere eine Sprühflüssigkeitskühlung (12), aufweist, wobei die Zufuhr des Kühlfluids insbesondere verlustleistungs- und/oder drehzahlabhängig erfolgt.
- 25 10. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die elektrische Maschine (4) stark im Bereich magnetischer Sättigung arbeitet, insbesondere bei einem Strombelag (bei max. Drehmoment) von wenigstens 400 bis 1000 A/cm Luftspaltlänge in Umfangsrichtung.
- 30 11. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die elektrische Maschine (4) eine hohe Drehmomentdichte - bezogen auf das maximale Drehmoment - aufweist, insbesondere größer als $0,01 \text{ Nm/cm}^3$.
- 35

- 5 12. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem der Wechselrichter (17) zumindest zeitweise mit einer hohen Taktfrequenz, insbesondere 10 kHz bis 100 kHz und höher, arbeitet.
- 10 13. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem elektronische Schalter (43, 47, 50) des Wechselrichters (17) fluidgekühlt, insbesondere siedebadgekühlt, sind.
- 15 14. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem mehrere elektronische Schalter (43) des Wechselrichters (17), insbesondere 2 bis 20 und mehr, parallel geschaltet sind.
- 20 15. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem der Wechselrichter (17) als Schalter (43, 47, 50) Halbleiterschalter, insbesondere schnelle Halbleiterschalter, wie Feldeffekttransistoren, bipolare Transistoren und/oder bipolare Transistoren mit isoliertem Gateanschluß (IGBTs) umfaßt.
- 25 16. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem der Wechselrichter (17) ein Pulswechselrichter ist.
- 30 17. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem der Wechselrichter (17) ein Zwischenkreis-Wechselrichter ist, dessen Zwischenkreis wenigstens einen Energiespeicher (19, 24, 25) aufweist oder mit wenigstens einem solchen gekoppelt ist, dem zum Starten Energie entnommen wird.
- 35 18. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die elektrische Maschine (4) Strom auf relativ hohem Spannungsniveau liefert, und Hilfsmaschinen, wie Klimamaschinen (29), Servoantriebe

(30), Pumpen, elektrisch auf einem hohen Spannungsniveau angetrieben werden.

- 5 19. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die elektrische Maschine (4) auch als Generator für Heizzwecke dient.
- 10 20. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welcher Teil eines Antriebssystems mit einer automatischen Start-Stop-Steuerung des Verbrennungsmotors (1) ist.
- 15 21. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die elektrische Maschine (4) ein Beschleunigen und/oder Abbremsen der Triebwelle herbeiführen oder unterstützen kann, insbesondere um ein Fahrzeug zu beschleunigen bzw. abzubremsen und/oder um im Rahmen einer Anti-Schlupf-Regelung durch Bremsen des Verbrennungsmotors und/oder wenigstens eines Antriebsrades den Schlupf eines Antriebsrades zu verringern.
- 20 22. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die elektrische Maschine (4) als elektromagnetische Kupplung im Antriebsstrang (2) und/oder als aktive Getriebe-Synchronisiereinrichtung oder als ein Teil hiervon wirkt.
- 25 23. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die elektrische Maschine (4) außerdem der Verringerung von Drehungleichförmigkeiten dient, indem sie ein schnell alternierendes gegenphasiges Drehmoment erzeugt.
- 30

1/5

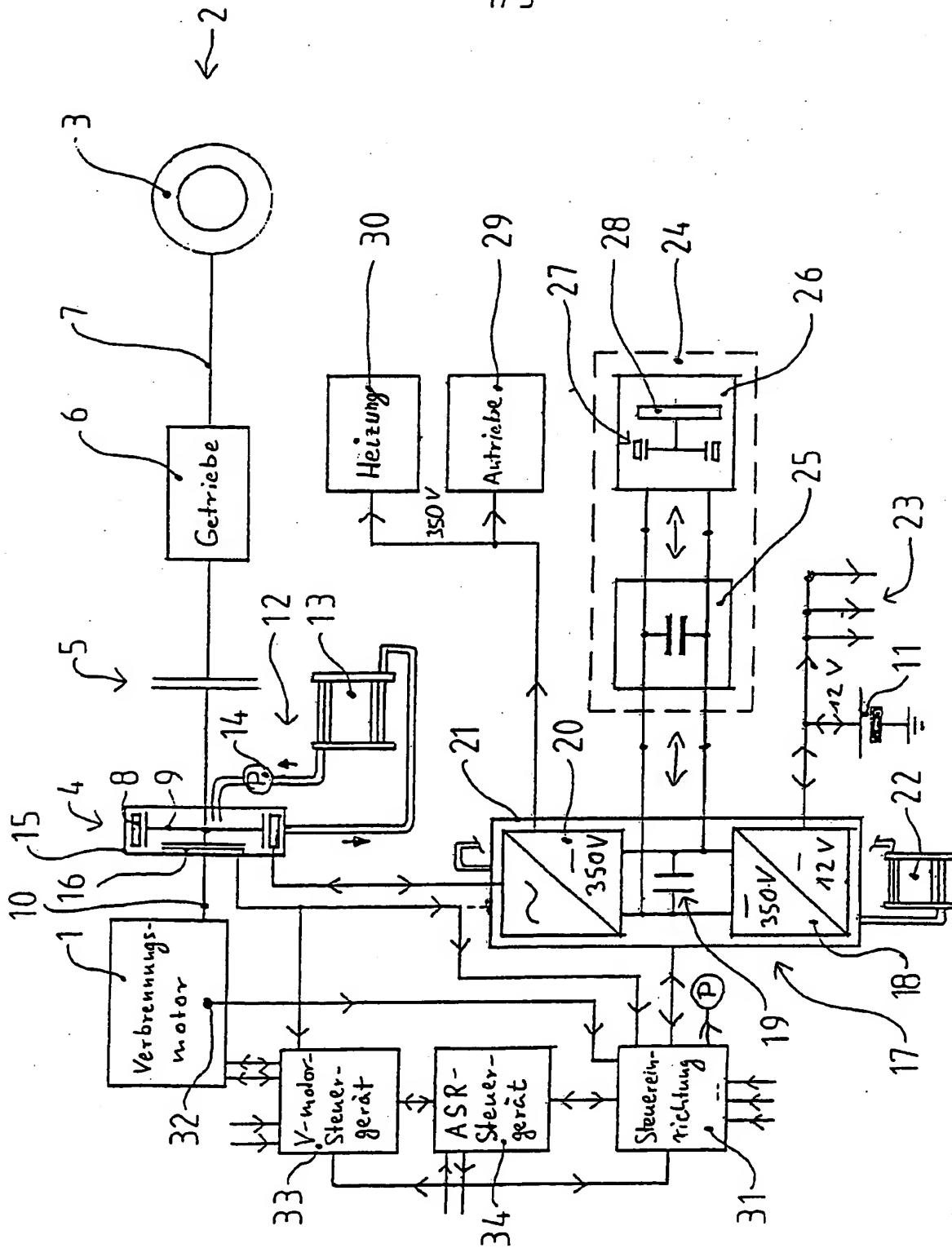


Fig. 1

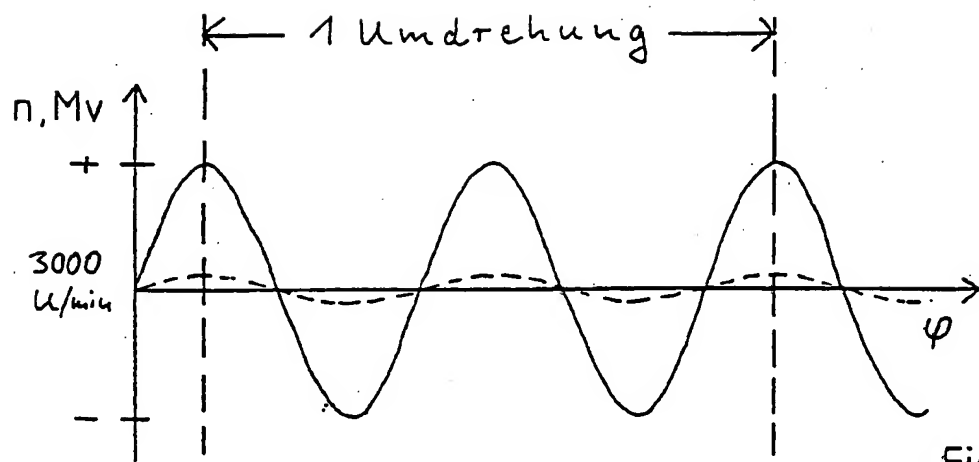


Fig.2a

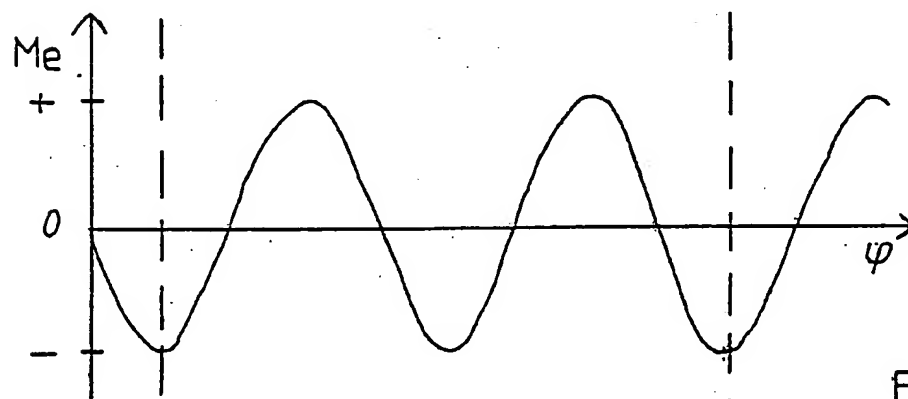


Fig.2b

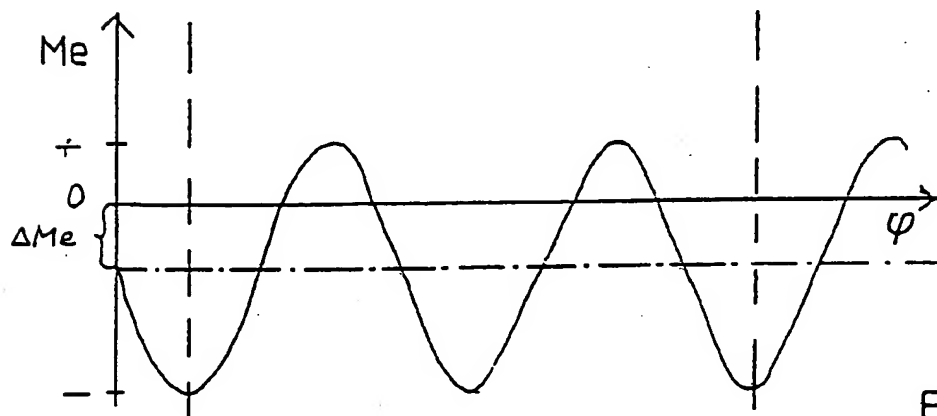


Fig.2c

3/5

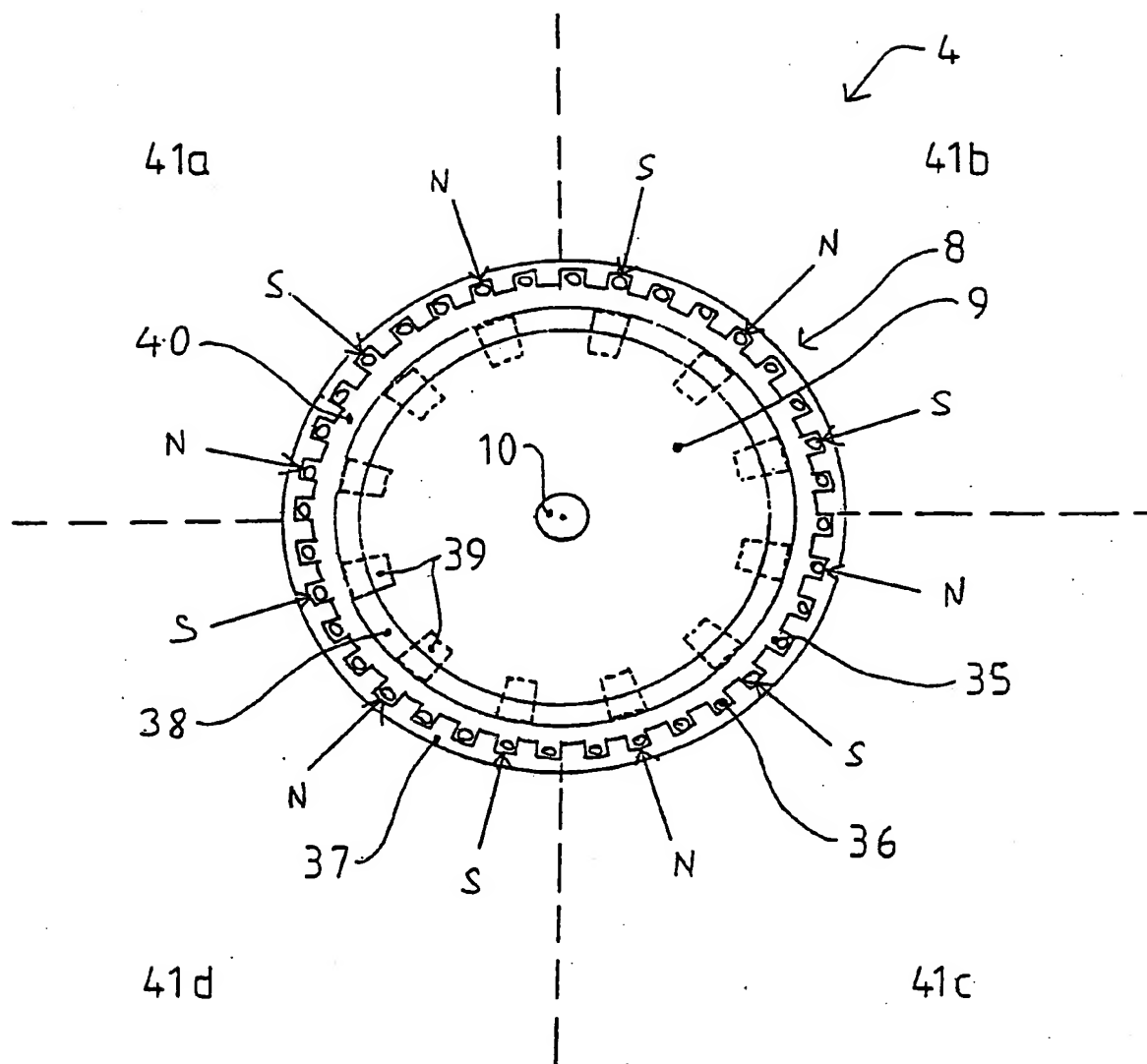


Fig. 3

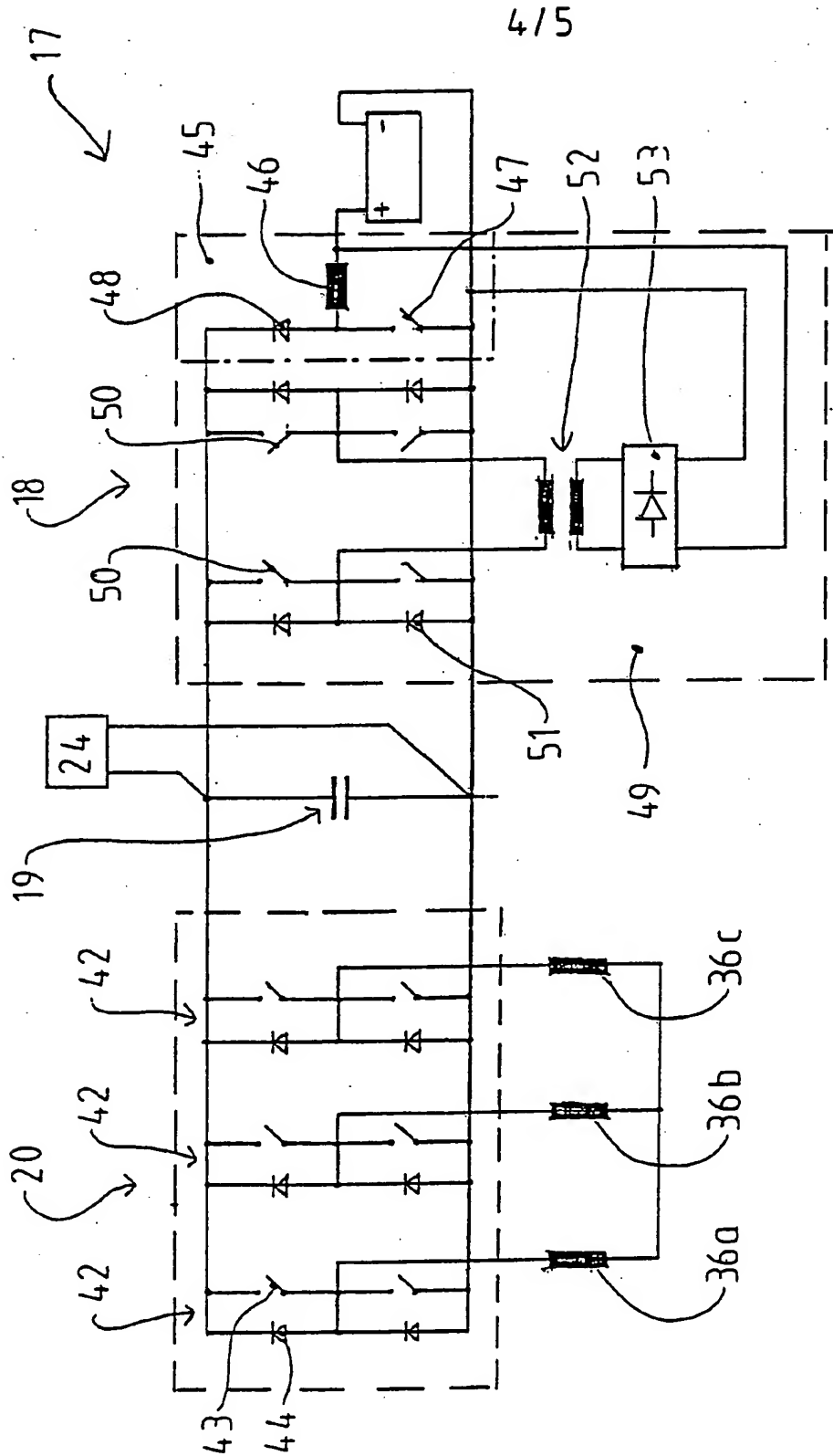


Fig. 5

5/5

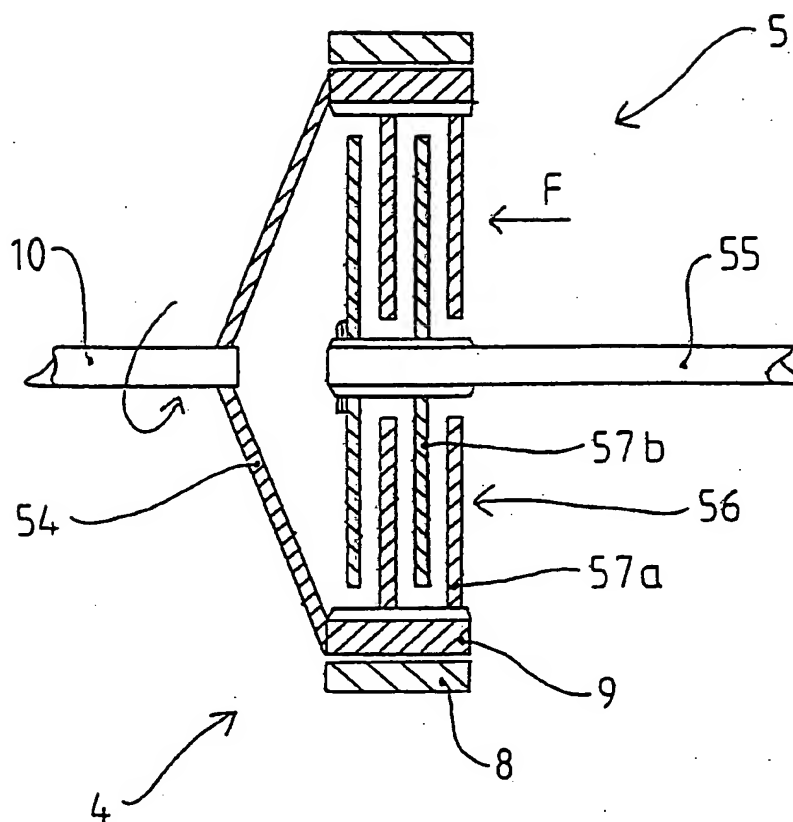


Fig. 4

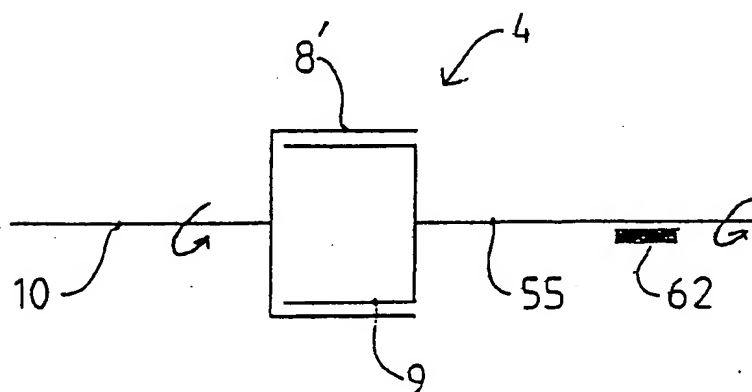


Fig. 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International / 'cation No
PCT/DE 96/01622

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 6 F02N11/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 6 F02N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 91 16538 A (VOLVO AB) 31 October 1991 see page 3, line 1 - page 4, last line; figure ---	1-5, 21-23
X	EP 0 569 347 A (LAIMBOECK FRANZ ;SPIELMANN CHRISTOPH DIPL ING (AT); PIOCK WALTER D) 10 November 1993 see abstract ---	1-4
A	FR 2 563 280 A (JEUMONT SCHNEIDER) 25 October 1985 see page 6, line 21 - line 33; figure 2 ---	1,14,15, 17
A	US 4 958 095 A (UCHIDA HIROYASU ET AL) 18 September 1990 see abstract ---	1,9
	-/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

5 February 1997

Date of mailing of the international search report

14. 02 97

Name and mailing address of the ISA
European Patent Office, P.B. 3818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+ 31-70) 340-3016

Authorized officer

Marti Almeda, R

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Publication No
PCT/DE 96/01622

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 3 774 303 A (BURKETT) 27 November 1973 see column 3, line 35 - column 4, line 6 see column 5, line 45 - line 53; figure 1 ---	6
A	US 5 325 042 A (MURUGAN MUTHU K) 28 June 1994 see column 2, line 15 - line 24 ---	7
A	US 4 797 602 A (WEST JOHN G W) 10 January 1989 see column 2, line 23 - line 61 see column 7, line 66 - column 8, line 21; figure 1 ---	8,20
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 012, no. 007 (E-571), 9 January 1988 & JP 62 166749 A (FANUC LTD), 23 July 1987, see abstract ---	9
A	US 3 902 073 A (LAFUZE DAVID LOGAN) 26 August 1975 see column 12, line 6 - line 34 ---	10
A	US 4 803 376 A (N GUYEN HUU CAN) 7 February 1989 see column 6, line 40 - line 45; figure 5 ---	11
A	US 4 883 973 A (LAKEY LEROY E ET AL) 28 November 1989 see column 4, line 49 - line 68; figure 3 ---	12,15,16
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 017, no. 649 (E-1468), 2 December 1993 & JP 05 211258 A (HITACHI LTD;OTHERS: 01), 20 August 1993, see abstract ---	13
A	US 5 125 236 A (CLANCEY STEPHEN M ET AL) 30 June 1992 see abstract ---	18
A	US 3 974 396 A (SCHONBALL WALTER) 10 August 1976 see claim 11 -----	19

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International / Publication No

PCT/DE 96/01622

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO-A-9116538	31-10-91	SE-B- 467422 SE-A- 9001440 US-A- 5323743	13-07-92 24-10-91 28-06-94
EP-A-0569347	10-11-93	AT-B- 398188 AT-A- 90592 JP-A- 6064451	25-10-94 15-02-94 08-03-94
FR-A-2563280	25-10-85	NONE	
US-A-4958095	18-09-90	JP-B- 2539221 JP-A- 63309771	02-10-96 16-12-88
US-A-3774303	27-11-73	BE-A- 697003 DE-A- 1613852 DE-A- 1613955 FR-A- 1511813 GB-A- 1149888 SE-B- 336253 US-A- 3497706	18-09-67 30-07-70 23-12-70 18-04-68 28-06-71 24-02-70
US-A-5325042	28-06-94	NONE	
US-A-4797602	10-01-89	EP-A- 0233738 JP-A- 62268370	26-08-87 20-11-87
US-A-3902073	26-08-75	DE-A- 2504890 FR-A- 2260893 GB-A- 1493875 JP-A- 50109333	21-08-75 05-09-75 30-11-77 28-08-75
US-A-4803376	07-02-89	FR-A- 2604041 EP-A- 0260176	18-03-88 16-03-88
US-A-4883973	28-11-89	CA-A- 1301242 EP-A- 0357183 JP-A- 2087999	19-05-92 07-03-90 28-03-90
US-A-5125236	30-06-92	NONE	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International / Publication No

PCT/DE 96/01622

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US-A-3974396	10-08-76	AU-A- 7503974	06-05-76
		BE-A- 821077	03-02-75
		DE-A- 2460413	24-07-75
		FR-A- 2258737	18-08-75
		JP-A- 50102808	14-08-75
		NL-A- 7411186	22-07-75
		SE-A- 7409754	21-07-75

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationale Zeichen
PCT/DE 96/01622

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 6 F02N11/04

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 6 F02N

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 91 16538 A (VOLVO AB) 31. Oktober 1991 siehe Seite 3, Zeile 1 - Seite 4, letzte Zeile; Abbildung ---	1-5, 21-23
X	EP 0 569 347 A (LAIMBOECK FRANZ ; SPIELMANN CHRISTOPH DIPL ING (AT); PLOCK WALTER D) 10. November 1993 siehe Zusammenfassung ---	1-4
A	FR 2 563 280 A (JEUMONT SCHNEIDER) 25. Oktober 1985 siehe Seite 6, Zeile 21 - Zeile 33; Abbildung 2 ---	1, 14, 15, 17
A	US 4 958 095 A (UCHIDA HIROYASU ET AL) 18. September 1990 siehe Zusammenfassung ---	1, 9
	-/-	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis der der Erfindung zugrundeliegenden Prinzipie oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"a" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

5. Februar 1997

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

14. 02. 97

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2220 HV Rijswijk
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+ 31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Marti Almeda, R

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationaler Zeichen
PCT/DE 96/01622

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 3 774 303 A (BURKETT) 27.November 1973 siehe Spalte 3, Zeile 35 - Spalte 4, Zeile 6 siehe Spalte 5, Zeile 45 - Zeile 53; Abbildung 1 ---	6
A	US 5 325 042 A (MURUGAN MUTHU K) 28.Juni 1994 siehe Spalte 2, Zeile 15 - Zeile 24 ---	7
A	US 4 797 602 A (WEST JOHN G W) 10.Januar 1989 siehe Spalte 2, Zeile 23 - Zeile 61 siehe Spalte 7, Zeile 66 - Spalte 8, Zeile 21; Abbildung 1 ---	8,20
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 012, no. 007 (E-571), 9.Januar 1988 & JP 62 166749 A (FANUC LTD), 23.Juli 1987, siehe Zusammenfassung ---	9
A	US 3 902 073 A (LAFUZE DAVID LOGAN) 26.August 1975 siehe Spalte 12, Zeile 6 - Zeile 34 ---	10
A	US 4 803 376 A (N GUYEN HUU CAN) 7.Februar 1989 siehe Spalte 6, Zeile 40 - Zeile 45; Abbildung 5 ---	11
A	US 4 883 973 A (LAKEY LEROY E ET AL) 28.November 1989 siehe Spalte 4, Zeile 49 - Zeile 68; Abbildung 3 ---	12,15,16
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 017, no. 649 (E-1468), 2.Dezember 1993 & JP 05 211258 A (HITACHI LTD;OTHERS: 01), 20.August 1993, siehe Zusammenfassung ---	13
A	US 5 125 236 A (CLANCEY STEPHEN M ET AL) 30.Juni 1992 siehe Zusammenfassung ---	18
A	US 3 974 396 A (SCHONBALL WALTER) 10.August 1976 siehe Anspruch 11 -----	19

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationale Zeichen

PCT/DE 96/01622

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO-A-9116538	31-10-91	SE-B- 467422 SE-A- 9001440 US-A- 5323743	13-07-92 24-10-91 28-06-94
EP-A-0569347	10-11-93	AT-B- 398188 AT-A- 90592 JP-A- 6064451	25-10-94 15-02-94 08-03-94
FR-A-2563280	25-10-85	KEINE	
US-A-4958095	18-09-90	JP-B- 2539221 JP-A- 63309771	02-10-96 16-12-88
US-A-3774303	27-11-73	BE-A- 697003 DE-A- 1613852 DE-A- 1613955 FR-A- 1511813 GB-A- 1149888 SE-B- 336253 US-A- 3497706	18-09-67 30-07-70 23-12-70 18-04-68 28-06-71 24-02-70
US-A-5325042	28-06-94	KEINE	
US-A-4797602	10-01-89	EP-A- 0233738 JP-A- 62268370	26-08-87 20-11-87
US-A-3902073	26-08-75	DE-A- 2504890 FR-A- 2260893 GB-A- 1493875 JP-A- 50109333	21-08-75 05-09-75 30-11-77 28-08-75
US-A-4803376	07-02-89	FR-A- 2604041 EP-A- 0260176	18-03-88 16-03-88
US-A-4883973	28-11-89	CA-A- 1301242 EP-A- 0357183 JP-A- 2087999	19-05-92 07-03-90 28-03-90
US-A-5125236	30-06-92	KEINE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationale
PCT/DE 96/01622

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US-A-3974396	10-08-76	AU-A- 7503974	06-05-76
		BE-A- 821077	03-02-75
		DE-A- 2460413	24-07-75
		FR-A- 2258737	18-08-75
		JP-A- 50102808	14-08-75
		NL-A- 7411186	22-07-75
		SE-A- 7409754	21-07-75

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.